М. О. ЮШКЕВИЧ, М. И. РОГОВОЙ

ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ

ИЗДАНИЕ 3-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено **Министерством** промышленности строительных материалов СССР в качестве учебника для **техникумов** промышленности строительных материалов

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва-1969

УДК 666.3/7

В книге дана классификация керамических изделий и подробная характеристика используемых для их производства сырьевых материалов. Разобраны технологические процессы производства различных видов керамики, приведены параметры производства, указаны требования к готовой продукции. Рассмотрены области применения керамики в различных отраслях техники и пути технического прогресса в керамической промышленности.

Книга является учебником для техникумов по специальности «Технология керамики», а также может быть использована широким кругом работников промышленности строительных материалов.

3—14—11
49—69

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник для техникумов М. О. Юшкевича «Технология керамики» вышел вторым изданием в 1955 г. Преждевременная кончина не дала возможности автору выполнить работу по подготовке третьего издания. По просьбе его семьи и Издательства мы выполнили эту работу.

За 14 лет, прошедших со времени второго издания, большие изменения претерпела номенклатура керамических строительных материалов и изделий: многие материалы утратили практическое значение и появились новые материалы и изделия, производство которых особо бурно развивается в текущем пятилетии (фасадная керамика, керамзит, аглопорит, дренажные трубы). Существенно изменилась техника и технология многих процессов: прочное место заняли шликерная подготовка пресспорошка, однорядная сушка и однократный обжиг плиток, успешно осваивается однорядный обжиг плиток в щелевых печах и др. Значительно продвинулось вперед изучение теоретических основ всех производственных процессов: все яснее вырисовывается перспектива оснащения теоретических основ технологии расчетным аппаратом.

Все это обусловило необходимость коренной переработки учебника и построения его на новом материале с использованием литературы, в основном вышедшей в свет после завершения работы над предшествующим изданием.

Мы глубоко признательны рецензентам И. И. Морозу и А. П. Семочкину за многочисленные ценные замечания по рукописи учебника. Все замечания читателей нами будут приняты с благодарностью.

М. И. Роговой

ВВЕДЕНИЕ

Технология керамики является наукой о методах изготовления керамических изделий с заданными свойствами.

Происхождение самого слова «керамика» имеет несколько версий. Согласно одной из них оно происходит от греческого слова «керамейя», что означало в древнее время искусство изготовления изделий из глины. В связи с этим под технологией керамики длительное время понимали науку о методах производства из глинистого сырья изделий с заданными свойствами. Но за последние годы это понятие получило более широкое толкование. Дело в том, что для керамической технологии типичны определенные производственные приемы: формование из сырьевых материалов изделий, их сушка и обжиг для придания им камнеподобных свойств. Эти приемы в последнее время нашли распространение в производстве изделий также из другого минерального (не глинистого) сырья. И понятие технологии керамики получило толкование как науки о методах производства изделий из минерального сырья путем их формования, сушки и придания им камнеподобных свойств посредством спекания при высоких температурах. Более того, методы керамической технологии получили применение для изготовления некоторых деталей из металлических порошков, в связи с чем порошковую металлургию именуют часто также металлокерамикой.

В технологии керамики изучаются методы механической и тепловой обработки сырья и изделий, а также происходящие в них при этом процессы. Поэтому основы физической химии силикатов, механическое и теплотехническое оборудование предприятий керамической промышленности являются основными опорными дисциплинами для изучения технологии керамики.

Керамические изделия находят самое различное применение во многих отраслях народного хозяйства и в быту. Они используются как строительные материалы — кирпич, черепица, облицовочные плитки для стен и полов, канализационные трубы, различные санитарно-технические изделия, в химической и металлургической промышленности — кислотоупоры и огнеупоры, в электропромышленности и радиотехнике — электроизоляторы и керамические изделия из специальных масс. Посуда из фарфора и фаянса остается до сего времени наиболее распространенной и широко используемой. Исключительное богатство архитектурно-художественных возможностей керамики позволяет использовать ее для изготовления художественных изделий и архитектурной отделки зданий.

Часть первая
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ГЛАВА ПЕРВАЯ
КЛАССИФИКАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Керамические изделия и материалы * обладают различными свойствами, которые определяются химическим составом исходного сырья, методами его переработки, а также условиями обжига — газовой средой, температурой и длительностью. В основу общепринятой их классификации положена структура пор. Согласно этой классификации изделия разделяются на две основные группы:

пористые, имеющие землистый излом и пропускающие воду;

спекшиеся, дающие блестящий, раковистый излом и не пропускающие воду.

Кроме этого, изделия классифицируются и по другим признакам.

В зависимости от степени однородности и зернистости керамического черепка их разделяют на изделия грубой и тонкой керамики. По применению в различных отраслях техники и в быту различают керамические строительные материалы и изделия, изделия огнеупорные, электротехнические, специального назначения (техническая керамика) и хозяйственно-бытовые.

Керамические строительные материалы и изделия по их назначению в отдельных элементах зданий и сооружений подразделяют на:

стеновые изделия — кирпич, керамические камни и панели из них;

фасадные изделия — лицевой кирпич, плитки различного рода;

изделия для внутренней облицовки стен — глазурованные плитки и фасонные детали к ним (карнизы, уголки, пояски);

плитки для полов;

изделия для перекрытий (балки, панели, специальные камни);

кровельные изделия — черепица;

* Разница в понятиях «материал» и «изделие» заключается в том, что изделию свойственны определенные размеры и форма, материал обычно лишен одного или обоих этих признаков.

санитарно-строительные изделия — умывальные столы, унитазы, ванны;

дорожные изделия — мостовой клинкер;

изделия для подземных коммуникаций — канализационные и дренажные трубы;

теплоизоляционные изделия — диатомитовые и шамотные легковесные изделия;

заполнители бетонов — керамзит, аглопорит.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Сырьевые материалы, используемые при изготовлении керамических изделий, можно подразделить на две основные группы: глинистые и непластичные.

§ 1. ГЛИНЫ

1. Определение

К глинистым материалам относятся глины и каолины. Согласно ГОСТ 9169—59 глинистое сырье представляет собой горные породы, состоящие в основном из глинистых минералов (каолинит, монотермит, монтмориллонит, гидрослюда, галлуизит и др.).

В техническом понимании глинами называют горные землистые породы, способные при затворении с водой образовывать пластичное тесто, которое в высушенном состоянии обладает некоторой прочностью (связностью), а после обжига приобретает камнеподобные свойства.

Термин глина имеет двоякое значение в глиноведении: им характеризуют определенные разновидности горных пород или же называют тонкодисперсную фракцию глинистой породы, проводя тем самым различие между глинистой частью и примесями, которые входят в состав глинистой горной породы.

2. Происхождение глин

Глина является продуктом разложения и взаимодействия с водой полевошпатных (гранитов, гнейсов, порфиров) и некоторых других (вулканические пеплы) горных пород. Это разложение происходило в результате многолетнего воздействия атмосферных агентов (воздух, дожди, морозы, солнце,

ветры и т. п.) и может быть в простейшем случае выражено формулой

$$\underbrace{R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2}_{\text{полевой шпат}} + CO_2 + 2H_2O =$$

$$= \underbrace{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}_{\text{каолинит}} + R_2CO_3 + 4SiO_2.$$

Являясь продуктами выветривания горных пород, глины и каолины оставались на месте образования или переносились в другие места. В первом случае месторождения называются первичными, или элювиальными, во втором — вторичными, или отложными. Различают три основных вида вторичных глин.

Делювиальные глины. Агентами их переноса являются дождевые и снеговые воды. Месторождения этих глин расположены, как правило, недалеко от мест их происхождения: в нижних частях склонов оврагов, в бывших озерах, болотах, морях. Для месторождений характерны слоистые напластования, неоднородный состав и засоренность мелкими примесями.

Ледниковые глины. Агентом их переноса является ледник, который в далеком прошлом покрывал значительную часть земной поверхности. Характер залегания глин линзообразный. Они сильно засорены каменистыми включениями всевозможных размеров, от крупных валунов до мелкой щебенки.

Лёссовидные глины. Агентами их переноса являются ветры. Месторождения глин расположены преимущественно на окраине бывших пустынь, там, где ветры вынуждены были значительно менять свою скорость, и характеризуются отсутствием слоистости, однородностью состава. Для глин характерны высокая дисперсность (пылеватость) и сильно пористое строение.

3. Состав глин

Различают вещественный, химический и гранулометрический составы глины, а также ее минеральный тип.

В вещественном составе глины принимают участие глинистое вещество и примеси.

Глинистое вещество является наиболее дисперсной фракцией глинистой породы и представляет собой комплекс глинообразующих минералов, придающих породе свойство пластичности. Главнейшие из них — каолинит, иллит (гидрослюда) и монтмориллонит. Все глинообразующие минералы представляют собой водные алюмосиликаты и при затворении с водой образуют тесто, способное формоваться.

Каолинит имеет химическую формулу $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Его кристаллическая решетка характеризуется относительно плотным строением с наименьшим расстоянием между закономерно повторяющимися группами ионов (пакетами, плоскостя-

ми) и неподвижна. Поэтому каолинит не способен присоединять и прочно удерживать большое количество воды. При сушке он сравнительно свободно отдает присоединенную воду. Размеры частиц каолинита от 1 до 3 *мк.*

Монтмориллонит имеет химическую формулу (идеальную по Россу) $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$. Эта формула наиболее проста, однако не совсем точно отражает состав монтмориллонита, так как в состав кристаллической решетки некоторых разновидностей этой группы минералов входят также Mg, Fe, Na. Кристаллическая решетка монтмориллонита имеет слоистое строение, отдельные слои в ней могут раздвигаться под воздействием вклинивающихся молекул воды. В связи с этим монтмориллонит способен интенсивно поглощать довольно большое количество воды, прочно ее удерживать и трудно отдавать при сушке, а также сильно набухать при увлажнении — объем увеличивается в 16 раз. Вода, принимающая участие в строении кристаллической решетки монтмориллонита, имеет неодинаковую прочность связи: одна ее молекула находится в узлах решетки и связана наиболее прочно, остальная вода может иметь переменное количество *n* и связана менее прочно. Размеры частиц монтмориллонита много меньше *1 мк.*

Иллит (гидрослюда) является продуктом многолетней гидратации слюд и имеет химическую формулу $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$. Кристаллическая решетка у этого минерала не разбухающая. По интенсивности связи с водой он занимает среднее положение между каолинитом и монтмориллонитом. Характерной особенностью минерала является то, что в его составе принимают участие окислы щелочных и щелочноземельных металлов, а также способность отдельных катионов к изоморфным замещениям. Так, Si^{4+} может замещаться Al^{3+}, а последний — Mg^{2+}. Размеры частиц гидрослюды около 1 *мк.*

В зависимости от количественного преобладания того или иного глинистого минерала различают глины каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые и т. п.

Примесями являются все компоненты глинистой породы, не входящие в состав глинообразующих минералов. В составе примесей различают их тонкодисперсную часть и включения. Согласно ГОСТ 9169—59 включениями считаются зерна величиной более 0,5 *мм.* Для глин, используемых в технологии грубой строительной керамики, к включениям относятся зерна величиной более 2 *мм.*

Кварцевые примеси встречаются в глине в виде кварцевого песка и тонкодисперсной кварцевой пыли — шлюфа. Они отощают глину, ухудшая ее формовочные свойства. Кварцевый песок улучшает сушильные свойства глин, а шлюф — ухудшает. Обжиговые свойства глин кварцевые примеси ухудшают, понижая трещиностойкость обожженных изделий при их охлаждении. Кроме того, они понижают прочность, а иногда и морозо-

стойкость обожженных изделий. Особенно вредны кварцевые примеси для производства керамзита.

Примесь полевошпатовых песков в глинах сравнительно редка и присуща в основном остаточным (первичным) глинам.

Карбонатные примеси встречаются в глинах в трех структурных формах: в виде тонкодисперсных равномерно распределенных пылеватых частиц, составляющих с остальной частью породы однородную массу, в виде рыхлых примазок и мучнистых стяжаний и в виде плотных каменистых конкреций, которые являются включениями.

Тонкодисперсные карбонатные примеси, разлагаясь при обжиге по схеме $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$, обусловливают повышенную пористость керамического черепка и некоторое понижение его прочности. При производстве стеновых материалов они не являются вредными, однако ухудшают свойства глин, используемых для производства изделий со спекшимся черепком, и керамзита.

Рыхлые примазки и скопления при механической обработке глины легко разрушаются и превращаются в равномерно распределенную безвредную тонкодисперсную примесь, количество которой обычно невелико, и потому они существенно не влияют на свойства глины.

Каменистые карбонатные включения являются вредными, вызывая в изделиях характерные пороки, получившие название «дутика». Этот вопрос подробно рассматривается во второй части (глава XIV).

Железистые примеси встречаются в виде тонкодисперсных равномерно распределенных минералов лимонита, гидроокиси железа и включений пирита. Тонкодисперсные железистые примеси придают глине окраску от светло-коричневого до темно-красного тона, а обожженному керамическому черепку — от кремового и бледно-розового до красного цвета.

При обжиге глины в окислительной атмосфере все железо переходит в окисную форму. В зависимости от количества окиси железа в глине изделие окрашивается в следующие цвета:

Содержание Fe_2O_3 в %	Цвет черепка	Содержание Fe_2O_3 в %	Цвет черепка
0,8	Белый	5,5	Светло-красный
1,3	Почти белый	8,5	Красный
2,7	Светло-желтый	10	Темно-красный
4,2	Желтый		

При обжиге изделий в восстановительной среде железистые окислы переходят из окисных соединений в закисные (восстанавливаются), окрашивающие изделие в сине-зеленоватый цвет. При увеличении содержания железа цвет глины после обжига делается все более темным и может стать черным. Красящее действие окислов железа значительно ослабляется при наличии в глине карбонатных примесей. Так, по данным Г. А. Каланта-

ра [1], обожженный черепок приобретает следующую окраску:

$\frac{Fe_2O_3}{CaO}$ не менее	Цвет черепка
0,4	Розовый
0,3	Желтый
0,2	Светло-желтый

Этим, в частности, объясняется то, что спондиловые глины Украины и среднеазиатские лессовидные суглинки, богатые карбонатными примесями, приобретают после обжига окраску желто-кремовых тонов. Закисные соединения железа, обладая большой реакционной способностью, интенсивно образуют железистые силикатные расплавы (стекла), способствуя сильному уплотнению керамического черепка. Наличие тонкодисперсных железистых примесей вредно для глин, используемых для производства беложгущихся керамических изделий (фарфор, фаянс), и, наоборот, благоприятно для красножгущихся изделий с плотным черепком (канализационные трубы, плитки для полов), а также для керамзита и аглопорита.

Включения пирита FeS_2 вызывают на обожженных изделиях появление железистых выплавок, а мелкодисперсных железистых включений — точечных черных пятен («мушки»). Аналогичные последствия, но с меньшей интенсивностью вызывают и примеси сидерита $FeCO_3$.

Щелочные окислы в примесях глин присутствуют обычно в виде полевошпатового песка и растворимых солей. Последние при сушке изделия мигрируют по капиллярам на его поверхность, а после обжига спекаются с черепком, образуя на внешней поверхности изделия белые налеты, портящие цвет черепка (в особенности красный).

Органические примеси окрашивают глину в черный цвет. В обжиге они выгорают, выделяя газы и обусловливая восстановительную среду внутри черепка. Эти явления полезны в производстве керамзита и, наоборот, могут являться источником определенных пороков («пузыря») при обжиге изделий с плотным черепком.

Гранулометрическим (зерновым) составом глин называется процентное содержание зерен различной величины в глинистой породе.

Гранулометрический состав глин, используемых в производстве изделий тонкой керамики, характеризуют чаще всего шестичленной классификацией со следующим размером частиц в *мк*: 1000—250, 250—50, 50—10, 10—5, 5—1 и менее 1. В этом случае к глинистому веществу относят только последнюю фракцию (менее 1 *мк*).

При специальных исследованиях глин фракцию менее 1 *мк* разделяют иногда на ряд дополнительных с зернами меньших размеров, так как в некоторых случаях именно эти фракции

обусловливают некоторые особенности в поведении глин при их взаимодействии с водой.

В производстве стеновых и других изделий грубой керамики чаще всего пользуются трехчленной классификацией глин (по Рутковскому), относя к глинистой части фракцию менее 5 *мк*, к пылевидной — от 5 до 50 *мк* и к песчаной — от 50 *мк* до 2 *мм*. Включениями считаются зерна величиной более 2 *мм*.

Трехчленная классификация дает возможность графически изображать гранулометрический состав глинистой породы при

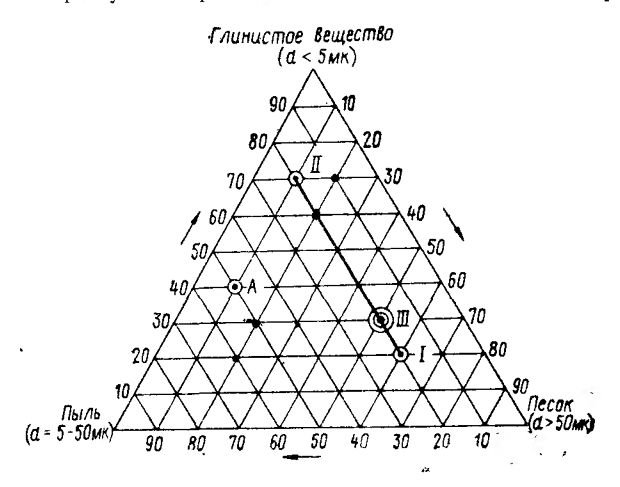


Рис. 1. Треугольная диаграмма гранулометрического состава глин

помощи треугольной диаграммы (рис. 1). Она представляет собой равносторонний треугольник, каждая из вершин которого соответствует 100%-ному содержанию какой-либо одной фракции (глинистой, пылевидной, песчаной), а каждая сторона является геометрическим местом точек соответствующих бинарных составов (глинистое вещество — песок, глинистое вещество — пыль, пыль — песок). Внутри треугольника располагаются все трехчленные составы глинистой породы. Против вершин располагаются параллельные эквидистантные линии с убывающим содержанием фракции, соответствующей рассматриваемой вершине. Так, например, состав, содержащий глинистой фракции 40%, пылевидной — 50% и песчаной — 10%, изобразится точкой *A*.

Пользование треугольной диаграммой весьма удобно для наглядного изображения результатов систематического контроля гранулометрического состава глины, поступающей в производство. Если точки, изображающие гранулометрический состав, располагаются на диаграмме «кучно», то это свидетельствует о сравнительном постоянстве состава глины: если же они сильно

разбросаны, то это указывает на нестабильность состава глины и на возможное появление брака готовой продукции.

Пользование треугольной диаграммой открывает и некоторые расчетные возможности. Так, например, можно решать задачи по определению состава смеси различных глин, их отощению и обогащению. Предположим, что в производство поступает глина из двух карьеров *I* и *II* следующего состава (в %):

	I	II
глинистое вещество . .	20	70
пылевидная фракция . .	20	20
песчаная » . . .	60	10

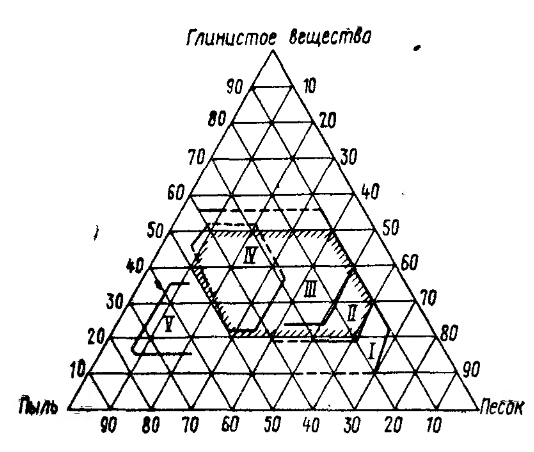


Рис. 2. Диаграмма гранулометрического состава глин. Глины пригодны для изготовления

I — полнотелого кирпича; *II* — дырчатого кирпича; *III* — черепицы; *IV* — дренажных труб и других тонкостенных изделий; *V* — гончарных и других изделий, для которых необязательна морозостойкость черепка

Глина смешивается в соотношении 1 : 4, причем из карьера *I* поступает 80, а из карьера *II* — 20% глины. Требуется узнать состав смеси, поступающей в производство. Для решения этой задачи наносим на диаграмму (см. рис. 1) точки *I* и *II*, соответствующие заданным составам глин, и соединяем их прямой линией. Она будет являться геометрическим местом точек всех смесей, которые можно получить из этих глин. Разделив ее на 1+4=5 частей и применив правило обратных рычагов, находим точку *III*, которая и будет соответствовать искомому составу смеси. В рассматриваемом примере найденный состав смеси будет содержать глинистого вещества 30, пылевидной фракции 20 и песчаной фракции 50%.

Аналогичным образом можно решить и обратную задачу — найти пропорцию, в которой нужно смешать глины исходных составов, для того чтобы получить смесь заданного состава. Причем если искомая точка не попадает на прямую линию, соединяющую исходные составы, то это означает, что смесь заданного состава из этих глин получить нельзя, в какой бы пропорции их не смешивать.

Исследуя гранулометрические составы многочисленных глин и сопоставляя их с результатами использования этих глин для изготовления отдельных видов керамических изделий, некоторые авторы определили на треугольной диаграмме области составов, пригодных для изготовления определенных видов изделий грубой керамики. Это сделано, например, на диаграмме А. С. Беркмана и И. Г. Мельниковой [2] (рис. 2). Зная гранулометрический состав глины и пользуясь этой диаграммой, можно составить первое представление о пригодности глин для изготовления определенных видов изделий грубой строительной керамики.

Классификация глин по содержанию тонкодисперсных фракций и крупнозернистых включений согласно ГОСТ 9169—59 приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация глин по содержанию тонкодисперсных фракций

Группа глинистого сырья	Содержание в % частиц размером менее 10 *мк*	Содержание в % частиц размером менее 1 *мк*
Высокодисперсная	Более 85	Более 60
Дисперсная . . .	От 40 до 95	От 20 до 60
Грубодисперсная .	Менее 40	Менее 20

По содержанию крупнозернистых включений размером более 0,5 *мм* согласно ГОСТ 9169—59 различают следующие группы глинистого сырья: с низким содержанием включений — не более 1%, со средним — от 1 до 5%, с высоким — более 5%.

В зависимости от размера преобладающих включений имеется глинистое сырье с мелкими включениями — менее 2 *мм*, со средними включениями — от 2 до 5 *мм* и с крупными включениями — более 5 *мм*.

По виду включений различают глинистое сырье с кварцевыми (преобладающие включения: кварцевый песок, кварц, кварциты, сланцы, обломочные силикатные горные породы и др.), железистыми (сидерит, пирит, лимонит, гидрослюдистое железо и др.), карбонатными (кальцит, доломит и др.), гипсовыми (гипс), органическими (растительные остатки, торф, уголь) и другими включениями.

В химическом составе глин принимают участие следующие основные окислы: SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, Fe_2O_3, TiO_2, K_2O, Na_2O.

Кремнезем SiO_2 находится в глинах в связанном и свободном состояниях: связанный кремнезем входит в состав глинообразующих минералов, свободный представлен примесями кварцевого песка и шлюфа. Определение химическим анализом содержания свободного кремнезема является особо важным при оценке пригодности глин для производства керамзита. Общее содержание кремнезема в глинах составляет 60—65% и в запесоченных глинах достигает 80—85%.

Глинозем Al_2O_3 находится в глинах в связанном состоянии, участвуя в составе глинообразующих минералов и слюдистых примесей. Он является наиболее тугоплавким окислом: с повы-

шением его содержания огнеупорность глин возрастает. Так как содержание слюдистых примесей в глинах обычно невелико, то содержание в них глинозема косвенно отражает относительную величину глинистой фракции, содержащейся в глинистой породе. Содержание глинозема колеблется от 10—15% в кирпичных и до 32—35% в наиболее ценных сортах огнеупорных глин.

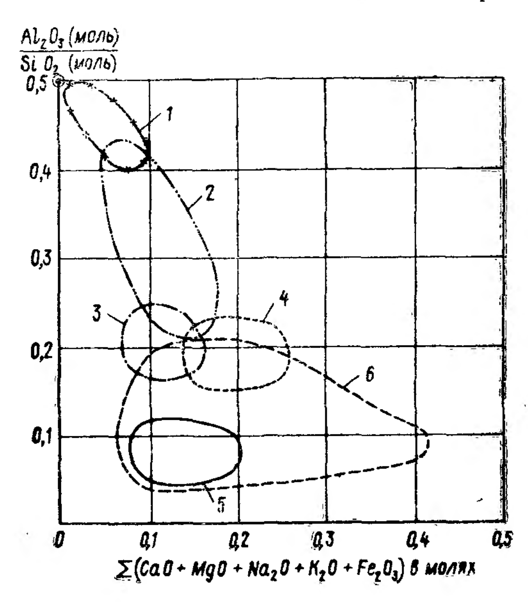


Рис. 3. Промышленное назначение глин в зависимости от их химического состава. Глины пригодны для производства

1 — огнеупорных шамотных изделий; *2* — плиток для полов, канализационных труб, кислотоупорных изделий и каменного товара; *3* — гончарных и терракотовых изделий; *4* — черепицы; *5* — мостового клинкера; *6* — кирпича

Известь CaO и магнезия MgO входят обычно в состав карбонатов — кальцита и доломита, в небольших количествах они участвуют также в составе некоторых глинистых минералов. При относительно высоких температурах обжига известь вступает в реакцию с глиноземом и кремнеземом и, образуя эвтектические расплавы в виде алюмокальциевых силикатных стекол, резко понижает температуру плавления глины. Содержание извести в глинах составляет обычно несколько процентов и лишь в отдельных разновидностях достигает 20—25%; содержание магнезии не превышает 2—3%.

Окись железа Fe_2O_3 содержится в глинах главным образом в составе примесей и оказывает на них и на обожженный черепок прежде всего красящее действие. Температуру плавления глины железистые окислы заметно понижают лишь при обжиге в восстановительной среде. Содержание железистых окислов в глинах (в пересчете на Fe_2O_3) колеблется от долей процента в наиболее чистых беложгущихся глинах до 8—10% в кирпичных глинах.

Двуокись титана TiO_2 участвует в примесях и содержание ее не превышает 1,5%. Двуокись титана придает обожженному черепку окраску зеленоватых тонов. Интенсивность окрашивающего действия TiO_2 составляет примерно $^2/_3$ интенсивности окрашивания Fe_2O_3.

Щелочные окислы Na_2O, K_2O входят в состав некоторых глинообразующих минералов, но в большинстве случаев присутствуют в примесях в виде растворимых солей и в полевошпатных песках. Их содержание достигает иногда 5—6%. Они ослабляют красящее действие Fe_2O_3 и TiO_2 и понижают температуру плавления глины.

Химический состав глин является их важнейшей характеристикой и в значительной мере определяет промышленное их назначение. Пригодность глин для производства тех или иных изделий можно оценивать, в частности, диаграммой А. И. Августиника (рис. 3) [3].

Классификации глин по химическим показателям согласно ГОСТ 9169—59 приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Классификация глин по содержанию $Al_2O_3+TiO_2$ в прокаленном состоянии

Группа глинистого сырья	Содержание $Al_2O_3+TiO_2$ в %	Обозначение
Высокоосновные	Более 40	Во
Основные	От 30 до 40	Ос
Полукислые	» 15 » 30	Пк
Кислые	Менее 15	К

Таблица 3

Классификация глин по содержанию красящих окислов в прокаленном состоянии

Группа глинистого сырья	Содержание в %	
	Fe_2O_3	TiO_2
С весьма низким содержанием красящих окислов	В сумме до 1	
С низким содержанием красящих окислов	Менее 1,5	Менее 1
Со средним содержанием красящих окислов	Свыше 1,5 до 3	Свыше 1 до 2
С высоким содержанием красящих окислов	Более 3	Более 2

4. Свойства глин

Многочисленные весьма разнообразные свойства глин, используемые в технологии керамики, могут быть объединены в четыре основные группы: водные, механические, сушильные и термические.

Водные свойства

Водные свойства глин проявляются при их свободном взаимодействии с водой. Поэтому для раскрытия и понимания механизма этих свойств необходимо прежде всего рассмотреть строение системы глина — вода.

В обычном житейском понимании вода представляется нам средой вполне однородной, а молекула воды — электрически нейтральной. Однако по отношению к воде, окружающей элементарное зерно глинообразующего минерала, это вовсе не так. В действительности отдельные слои водной оболочки, окружающей глинистый минерал, физически неоднородны, а молекула воды имеет дипольное строение и, следовательно, концы ее электрически заряжены. Элементарное зерно глинообразующего минерала имеет всегда отрицательный электрический заряд либо вследствие явлений изоморфного замещения катионов в кристаллической решетке, либо вследствие наличия оборванных некомпенсированных связей на ее концах. С учетом этих факторов строение комплекса глина — вода для элементарного глинистого зерна в самом схематическом приближении можно представить в следующем виде (рис. 4). Поверхность зерна *1* глинообразующего минерала имеет отрицательные заряды (знаки минус), которые создают вокруг него силовое поле. Под его воздействием дипольные молекулы воды своим положительным концом H^+ ориентируются по направлению к отрицательному заряду зерна и плотно окружают его поверхность, образуя мономолекулярный *2* и далее полимолекулярный слой адсорбированной воды. Эти слои, будучи сильно сжаты под воздействием силового поля, образуют (по терминологии почвоведов) прочно связанную воду, обладающую особыми свойствами. По мере удаления от поверхности зерна напряженность силового поля, а следовательно и интенсивность притяжения молекул воды, убывает. Молекулы воды, относительно удаленные от поверхности зерна, но все же находящиеся под воздействием его силового, хотя и слабого поля, имеют уже некоторую свободу перемещения. Они образуют диффузный слой, в котором вода является (по той же терминологии) рыхлосвязанной. Таким образом, зерно глинообразующего минерала окружено несколькими концентрическими слоями воды, каждый из которых удерживается частицей с различной силой, убывающей от ее поверхности к периферии. Поскольку связанная вода находится в сильно сжатом состоянии под давлением, достигающим 3000 *кГ/см*², то ее свойства резко отличны от свойств обычной воды и сходны со свойствами твердого тела: ее теплоемкость составляет всего 0,7 *ккал/кг·град*, она не растворяет некоторых веществ (например, сахара), хорошо растворяющихся в обычной воде*, плотность ее составляет у каолинов 1,065, а у глин 1,114 *г/см*³, она не обладает электропроводностью, температура замерзания ее достигает минус 70° С.

* На этом свойстве основан метод определения количества связанной воды (сахарометрия).

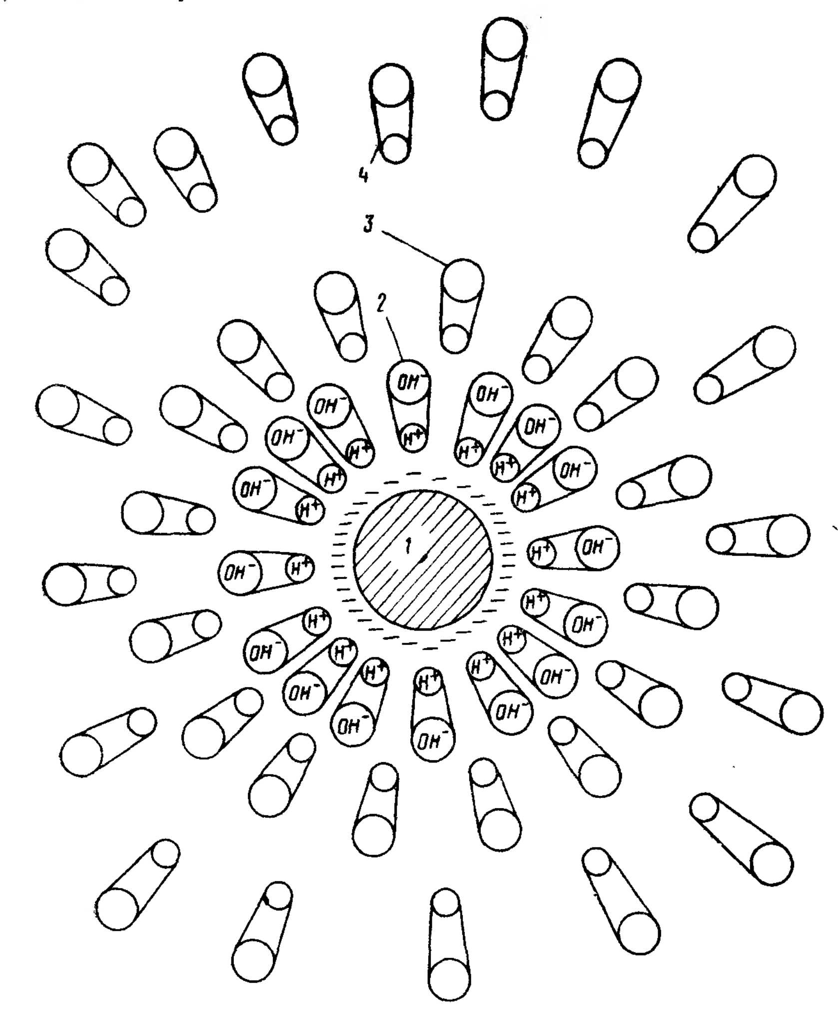


Рис. 4. Схематическое строение водной оболочки вокруг зерна глинообразующего минерала

1 — зерно глинистого минерала; молекулы воды: *2* — мономолекулярного адсорбированного слоя; *3* — полимолекулярного адсорбированного слоя; *4* — диффузного слоя

Представленная на рис. 4 схема строения водной оболочки справедлива для чистой воды, не содержащей каких-либо примесей. В реальных условиях этого не бывает; вода в глине всегда имеет некоторое количество растворенных солей, молекулы

которых диссоциируют на ионы. Катионы этих солей, являясь носителями положительных зарядов, также окружены «собственной» водной оболочкой и вместе с ней могут находиться либо в диффузном слое, либо адсорбироваться на поверхности зерна глинообразующего минерала, создавая так называемый сорбированный комплекс. С учетом этого строение водной оболочки схематически представлено на рис. 5 [4].

Рассмотренным строением водной оболочки объясняются многие свойства глин, в том числе и водные, главнейшими из которых являются влагоемкость, набухание, размокаемость и тиксотропное упрочнение.

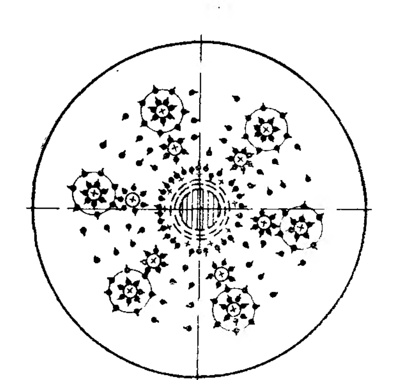


Рис. 5. Гидратная оболочка глинообразующего минерала

Влагоемкость представляет собой способность глины вмещать в себя определенное количество воды и удерживать ее вопреки действию силы тяжести. Вода в глине удерживается не только силами молекулярного притяжения; в диффузный слой часть воды проникает также путем осмотического всасывания, а в порах глинистой породы вода может удерживаться еще и капиллярными силами. И осмотические и капиллярные силы относительно невелики по сравнению с силами молекулярного притяжения, поэтому осмотическая и капиллярная вода образуют группы свободной воды. Величина влагоемкости глины зависит от ее дисперсности и минералогического состава: с увеличением дисперсности, а следовательно и удельной поверхности глины, ее влагоемкость возрастает. Монтмориллонитовые глины обладают наибольшей влагоемкостью, каолинитовые — наименьшей.

Набуханием называют способность глины увеличивать свой объем за счет поглощения влаги из воздуха или при ее непосредственном контакте с жидкой водой. Количественно степень набухания измеряется относительным увеличением первоначального объема, выраженным в процентах, или (по ГОСТ 3594—62) приростом объема поглощенной влаги по отношению к первоначальному весу глины.

Частица глинистого вещества представляет собой агрегат из слипшихся первичных зерен глинообразующих минералов, иногда сцементированных природными цементами катионного комплекса. Набухание глин происходит вследствие того, что поляризованные молекулы воды вклиниваются между отдельными слипшимися зернами глины и, адсорбируясь на их поверхности,

раздвигают их, создавая вокруг водную оболочку. У минералов с раздвигающейся кристаллической решеткой молекулы воды проникают также в пространство между отдельными слоями (пакетами) решетки, образуя межслоевую воду.

Степень набухания зависит от дисперсности глин и состава их глинообразующих минералов. У высокодисперсных глин степень набухания наибольшая вследствие большой величины их удельной поверхности. У монтмориллонитовых глин, которые характеризуются подвижностью кристаллической решетки, степень набухания выше, чем у каолинитовых. Структура пакета кристаллической решетки каолинита такова, что один его конец представлен ионом H^+, а второй — OH^-. Поэтому концы двух пакетов прочно сцеплены между собой ионами, имеющими противоположные заряды, и раздвинуть такую решетку молекулы воды не могут, их взаимодействие ограничивается лишь адсорбцией на поверхности минерального зерна. У монтмориллонита строение кристаллической решетки симметричное: одноименные заряды кислорода на концах пакетов смыкаются, создавая непрочную связь. Поэтому молекулы воды легко вклиниваются в межпакетное пространство решетки монтмориллонита, раздвигая ее. Запесоченность глин понижает их набухание.

При набухании глины происходит ее контракция: объем набухшей глины меньше суммы объемов глины и воды, что объясняется сжатием воды и повышением ее плотности при адсорбировании зернами глинистых частиц. Процесс набухания во времени затухает. Рыхлые глины набухают быстрее, чем плотные. Монтмориллонитовые глины набухают быстрее, чем каолинитовые.

Размокание представляет собой распад в воде агрегированных глинистых частиц на более мелкие частицы или элементарные зерна с образованием полидисперсной системы.

Природа прочности глин объясняется несколькими факторами [5]. Одним из них являются силы вторичных валентностей (ван-дер-ваальсовы силы), т. е. силы межмолекулярного притяжения. Они возникают вследствие поляризации молекул, а также дисперсионного взаимодействия, при котором движение электронов во взаимодействующих молекулах приводит к появлению мгновенных диполей и, как следствие, к взаимному их притяжению. Сцепление отдельных зерен минералов может происходить также за счет цементации ионами различных примесей, особенно если они сами окружены гидратной оболочкой.

Первой стадией диспергирования (распада) глинистой частицы является ее набухание, когда молекулы воды, втягиваясь в промежутки между зернами агрегата, расклинивают их (рис. 6). По мере возрастания толщины водной оболочки она все больше и больше экранирует действие межмолекулярных сил сцепления, ослабляя связь между отдельными зернами частицы. При достаточно толстых водных оболочках внешние их слои

удерживаются уже не силами межмолекулярного притяжения, а капиллярным давлением внутри относительно крупных пор, если они не целиком заполнены водой. В этом случае силы капиллярного давления стягивают отдельные зерна частицы, мешая им окончательно разъединиться. Когда же поры целиком окажутся заполненными водой, мениски исчезнут и одновременно прекратится действие сил капиллярного давления. После этого ничто уже не будет удерживать зерна вблизи друг друга и они начнут свободно перемещаться в воде, находясь в ней во взвешенном состоянии, что и будет означать полное размокание глины.

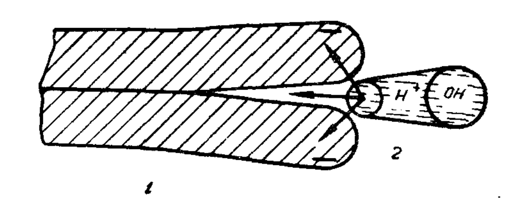


Рис. 6. Схема расклинивающего действия адсорбируемой воды

1 — слипшиеся зерна глинистой частицы с отрицательными зарядами на концах; 2 — дипольная молекула воды

Процесс размокания начинается с поверхности глиняного куска. Набухшие его наружные слои, испытывая напряжения скалывания, постепенно отделяются, обнажая новые поверхности для взаимодействия с водой. Однако в плотных глинах отделения таких слоев почти не происходит, а гидратация их затрудняет доступ воды во внутренние слои куска. Поэтому плотные глины размокают очень трудно. Перемешивание глины, сопровождающееся механическим разрушением ее отдельных кусков, обусловливает интенсивное обнажение новых поверхностей для взаимодействия с водой и тем самым ускоряет процесс размокания. Подогрев воды также ускоряет этот процесс вследствие уменьшения вязкости воды при нагреве, что облегчает ее проникание на большую глубину внутрь куска. Интенсивность размокания глины имеет большое практическое значение при приготовлении однородного пластичного теста и в особенности глиняных шликеров.

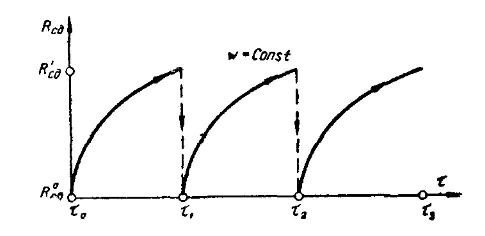


Рис. 7. Схема процесса тиксотропного упрочнения глины

Под тиксотропным упрочнением понимают способность влажной глиняной массы самопроизвольно восстанавливать нарушенную структуру и упрочняться при неизменной влажности. Схематически проявление этого свойства показано на рис. 7. В начальный момент времени τ_0 глиняная масса имеет прочность $R^0_{сд}$. С течением времени ее прочность возрастает, достигая в момент времени τ_1 величины $R'_{сд}$. В этот момент структуру принудительно разрушают (например, разбалтывают шликер) и ее прочность падает до первоначальной, после чего она вновь к моменту τ_2 восстанавливается до $R'_{сд}$. После вторичного разрушения она вновь восстанавливает свою прочность и т. д.

Самоупрочнение глины происходит вследствие процесса переориентации частиц глины и молекул воды таким образом, что они стыкуются концами, имеющими разноименные заряды, что увеличивает силу их сцепления. Очевидно, при этом также происходит процесс перехода части воды из свободных форм в связанные вследствие более глубокой с течением времени гидратации отдельных зерен глинистой массы. Интенсивность и величина тиксотропного упрочнения различна, что, например, иллюстрируется результатами исследований А. И. Августиника (рис. 8). По литературным данным, сопротивление сдвигу теста из ленточной глины возросло через 1 сутки после ее переработки в 2,4 раза, через 3,5 суток — в 2,6 раза, через 22 суток — в 3,1 раза, через 120 суток — в 5,4 раза, через 240 суток — в 7,9 раза [5].

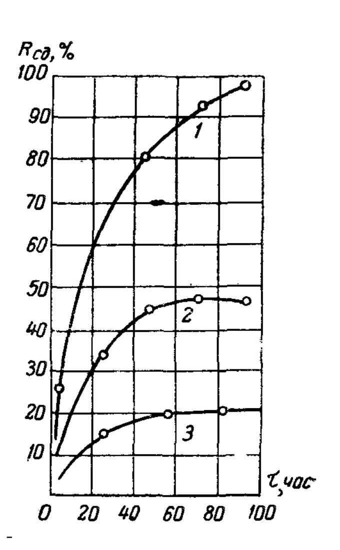


Рис. 8. Кривые тиксотропного упрочнения

1 — фарфоровой массы; 2 — ряжской глины; 3 — глуховецкого каолина

Тиксотропия глин отражается на литейных свойствах шликеров и используется для улучшения формовочных и сушильных свойств глин при приготовлении пластичного теста.

Механические свойства

Механические свойства глин проявляются при воздействии на них внешних усилий. Главнейшим из этих свойств является пластичность.

Пластичностью глины называется ее способность под воздействием внешних усилий принимать любую форму без разрыва сплошности и сохранять эту форму после прекращения действия усилий. В керамической литературе принято говорить о пластичности как о свойстве глин. Однако в действительности пластичность является не свойством, а одним из состояний глин, которое отлично от хрупкого и вязко-текучего. Хрупкое состоя-

ние, как известно, характеризуется тем, что образец при разрыве разрушается без изменения своего поперечного сечения. Для него характерно еще и то, что после разрушения система не восстанавливается. При вязко-текучем состоянии масса растекается под действием собственного веса. Пластичное состояние является промежуточным между хрупким и вязко-текучим. Его возникновение можно проследить на графике в координатах влажность w — прочность $R_{сд}$ (рис. 9). В абсолютно сухом состоянии ($w=0$) глиняный образец имеет довольно высокую прочность и разрушается хрупко. При небольшом увеличении влажности прочность образца сначала резко падает вследствие адсорбционного расклинивания поглощенной влагой, но хрупкое состояние сохраняется во всей области $А$. По сообщению П. А. Ребиндера, один мономолекулярный слой адсорбированной воды понижает прочность вещества в 1000 раз. Дальнейшее увеличение влажности приводит к замедленному падению прочности (область $Б$). В этой области прочность глиняного теста, обусловленная как силами межмолекулярного притяжения, так и капиллярного давления, достаточна для сохранения образцом формы под действием веса, но в то же время водные оболочки достаточно велики, чтобы обеспечить скольжение частиц в отношении друг друга при воздействии на них внешних усилий. Это и есть область пластического состояния. В этой области вода, с одной стороны, стягивает глинистые частицы, не давая им возможности расползаться, а с другой, — обусловливает значительную сдвиговую подвижность глиняных частиц, обеспечивая им возможность скольжения. Дальнейшее увеличение влажности приводит к такому возрастанию толщины водных оболочек, что они полностью экранируют действие сил межмолекулярного притяжения и исключают действие капиллярного давления. В связи с этим прочность системы падает настолько, что она оказывается не в состоянии выдерживать действие собственного веса. Это и есть вязко-текучее состояние (область $В$).

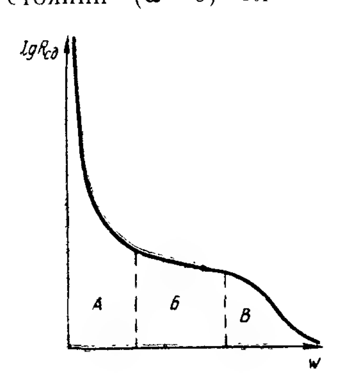


Рис. 9. Изменение деформативных свойств глины в зависимости от ее влажности. Области состояния

$А$ — хрупкого; $Б$ — пластического; $В$ — вязко-текучего

Согласно ГОСТ 5499—59 количественной мерой пластичности является число пластичности $П$

$$П = w_т - w_р \%, \quad (1)$$

где $w_т$ — влажность предела текучести; $w_р$ — влажность предела раскатывания.

Влажность предела раскатывания является границей между хрупким и пластическим состоянием системы, а влажность предела текучести отсекает область пластического состояния от вязко-текучего. Таким образом, физический смысл показателя пластичности $П$ хорошо увязывается с трактовкой механизма возникновения и сущности пластического состояния: он определяет интервал влажностей, в котором глина сохраняет пластическое состояние.

В зависимости от числа пластичности ГОСТ 9169—59 устанавливает классификацию глин на пять групп: высокопластичные — $П>25$, среднепластичные — $П=15\div25$, умереннопластичные — $П=7\div15$, малопластичные — $П<7$, непластичные — не дающие пластичного теста.

М. П. Воларович, исходя из анализа классического уравнения Бингама — Шведова [6], для вязкой жидкости предложил характеризовать пластичность показателем пластичности

$$\varphi = \frac{R_{сд}}{\eta}, \quad (2)$$

где $R_{сд}$ — пластическая прочность (предел прочности при сдвиге); η — структурная вязкость.

По смыслу выражения (2) тело не будет пластичным, когда $\varphi=0$. Это может наблюдаться в двух случаях: либо когда $R_{сд}$ стремится к 0, тогда система будет текучей, либо когда $\eta\to\infty$, тогда система будет хрупкой. Этот показатель еще с большей четкостью отражает физический смысл пластического состояния.

Кривые в координатах φ—w (рис. 10) дают возможность выявить оптимальную влажность, при которой пластические свойства проявляются в большей мере.

Пластичность глин зависит прежде всего от их гранулометрического состава: с повышением дисперсности глин их пластичность возрастает. В сильной степени пластичность зависит от минерального типа глин: наибольшей пластичностью обладают монтмориллонитовые глины, наименьшей — каолинитовые. Запесоченность глин понижает их пластичность.

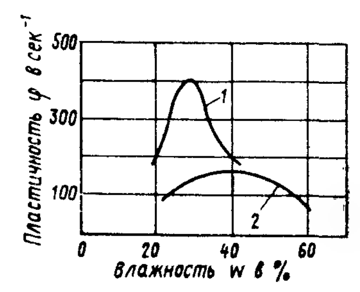


Рис. 10. Зависимость между пластичностью φ и влажностью w для глины

1 — киевской спондиловой; 2 — часов-ярской

Формовочная влажность является также важным показателем механических свойств глины. Ее иногда именуют влажностью воды затворения и влажностью рабочего теста. Формовочной влажностью называется та максимальная влажность, при которой глина способна формоваться под воздействием руки человека и в то же время не прилипать к рукам и к металлу.

Среднее усилие нажатия человеческой руки соответствует примерно 2 $кГ/см^2$, а предельное напряжение сдвига составляет при формовочной влажности, по данным Е. И. Заварзиной, около 0,6 $кГ/см^2$.

Формовочная влажность зависит от состава глины: запесоченность глины понижает ее, с повышением дисперсности она возрастает, у монтмориллонитовых глин она выше, чем у каолинитовых.

Ф. А. Барщевский [7] установил следующую связь между величиной формовочной влажности глины $w_ф$ и содержанием в ней глинистого вещества (частиц менее 5 мк) $A_{гл}$ %:

$$w = KA_{гл}, \qquad (3)$$

где K — опытный коэффициент, величина которого имеет следующие значения:

$A_{гл}$ в %	6—7	8—10	10—12	20—30	30—40	40—50	50—60
К	3,2	2,2	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5

Логично считать, что глину нужно формовать при той влажности, при которой в наибольшей мере проявляются ее пластические свойства. В связи с этим кривые в координатах $\varphi — w$ (см. рис. 10) однозначно указывают оптимальную формовочную влажность глины и могут получить большое практическое значение.

Растяжимость глин представляет собой их предельное относительное удлинение, при котором наступает разрыв образца. Установлено [8], что величина растяжимости определяет трещиностойкость керамических изделий при их сушке. Растяжимость в % для отдельных глин составляет: часов-ярской — 16, трошковской — 7, липовецкой — 3,3, каменской — 3, просяновского каолина — 2,9.

Сушильные свойства

Сушильные свойства отражают изменения, которые происходят в глиняной массе при ее сушке. К их числу относятся воздушная усадка, чувствительность глин к сушке и влагопроводные свойства глины.

Воздушная усадка представляет собой уменьшение размеров глиняного образца при его сушке и является одним из наиболее важных сушильных свойств глины.

Какие же силы обусловливают усадочные деформации в глине при ее сушке? Можно полагать, что ими являются силы капиллярного давления и в этом случае усадочные деформации происходят вследствие нарушения силового равновесия в капилляре по следующей схеме: вода объемом V_0 (рис. 11, *а*), частично заполняющая капилляр, образованный глинистыми частицами, находится под воздействием гравитационных сил P_{g_0}, которые уравновешиваются силами капиллярного давления P_{k_0}, действующими по периметру капилляра. Полагая, что капилляр имеет в плане круглое сечение с диаметром d_0, запишем выражения для обеих сил:

$$P_{g_0} = \frac{\pi d_0^2 h_0 \gamma}{4}, \qquad (4)$$

$$P_{k_0} = \pi d_0 \sigma, \qquad (5)$$

где h_0 — усредненная высота столба воды в капилляре; σ — поверхностное натяжение воды.

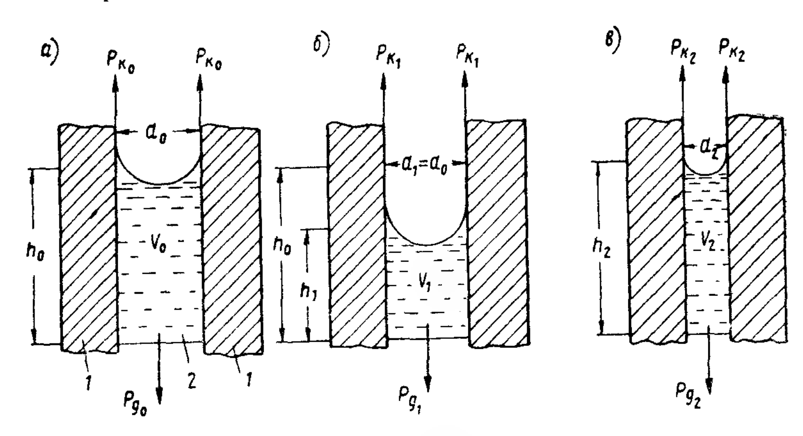


Рис. 11. Схема возникновения усадочных деформаций в результате действия капиллярных сил

1 — частицы глины, образующие капилляр; *2* — вода, заполняющая капилляр

При этом условие силового равновесия в капилляре запишется как $P_{k_0} = P_{g_0}$.

Далее представим, что путем теплового воздействия произведен мгновенный отбор части воды из капилляра (рис. 11, *б*) и высота ее столба понизилась до h_1. Очевидно, что при этом в соответствии с (4) уменьшится и гравитационная сила: $P_{g_1} < P_{g_0}$. Но сила капиллярного давления пока не изменилась, так как неизменным остался диаметр капилляра d_0 и, следовательно, $P_{k_0} = P_{k_1}$. Вследствие этого силовое равновесие нарушилось, т. е. $P_{k_1} > P_{g_1}$.

Так как всякая система стремится восстановить нарушенное равновесие, то в результате этого стремления силы капиллярного давления начнут растягивать столб воды в капилляре. При неизменном его объеме V_1 увеличение высоты столба может произойти только за счет уменьшения поперечного сечения, т. е. диаметра. Но так как вода прочно связана со стенками капилляра (не находящимися в контакте), то столб воды, растягива-

ясь, будет увлекать за собой частицы глины, которые таким образом начнут сближаться, образуя капилляр меньшего сечения (рис. 11, *в*) и тем самым обусловливая уменьшение размеров глиняного образца. Такое сближение будет происходить до тех пор, пока капиллярные и гравитационные силы в капилляре вновь не уравновесятся либо пока твердые глинистые частицы не окажутся в состоянии контакта. В состоянии восстановленного равновесия

$$V_2 = V_1, \quad d_2 < d_1, \quad P_{g_1} = P_{g_2}, \quad P_{g_2} = P_{k_2}.$$

Количественной мерой усадочных явлений при сушке является величина относительной усадки

$$J_{\text{от}} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} 100\%, \qquad (6)$$

где $J_{\text{от}}$ — относительная усадка; l_0 — начальная длина образца; l_1 — длина образца, высушенного до постоянных размеров.

Относительная воздушная усадка колеблется в пределах от 2 до 8%. Запесоченность глин понижает воздушную усадку. Монтмориллонитовые глины обладают наибольшей усадкой, каолинитовые — минимальной. Помимо состава и физических свойств глины на величину усадки влияет еще режим сушки: в условиях медленной сушки (например, при естественной сушке) величина усадки больше, нежели при жестком режиме искусственной сушки.

Рис. 12. Схема к определению коэффициента усадки

Для одной и той же глины величина воздушной усадки зависит от начальной влажности образца. При одной и той же величине l_1 образец может иметь различную длину $l_{\text{к·у}}$ в зависимости от его начальной влажности w_0 (рис. 12), а это, как нетрудно видеть из (6), будет менять и величину усадки.

Поэтому величина воздушной усадки в отрыве от влажности образца не может являться физической константой, характеризующей усадочные явления, присущие данной глине. Зависимость длины образца от его влажности в интервале наличия усадочных явлений, как это установлено экспериментами [9], описывается прямой линией. Ее наклон не зависит от начальной влажности образца, а зависит лишь от состава данной глины и поэтому может быть использован как показатель, характеризующий усадочные свойства. Угловой коэффициент этой прямой был назван коэффициентом усадки $K_{\text{ус}}$, который может рассматриваться как физическая константа, характеризующая усадочные свойства данной глины.

Итак, в соответствии со схемой рис. 12 можно написать

$$K_{\text{ус}} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{l_0 - l_{\text{к.у}}}{w_0 - w_{\text{к.у}}}, \qquad (7)$$

где $l_{\text{к·у}}$ и $w_{\text{к.у}}$ — соответственно длина и влажность образца в момент прекращения в нем усадочных явлений.

Влагопроводные свойства отражают интенсивность перемещения влаги внутри глиняной массы. Показателем, количественно характеризующим это свойство, является коэффициент потенциала переноса влаги a', называемый в теории сушки коэффициентом потенциалопроводности. Как известно, потенциалом переноса тепла является температура, переноса электричества — напряжение, диффузии — химический потенциал. Аналогично этому причиной переноса влаги внутри твердого тела также является потенциал переноса влаги (который не следует отождествлять с влажностью материала). Таким образом, показатель a' весьма близок по своему физическому смыслу к коэффициенту диффузии и имеет ту же размерность — *м²/ч*. Порядок величины a' составляет для различных глин (от 0,66 до 2,14) 10^{-4} *м²/ч*.

Существует тесная и вполне понятная связь между влагопроводными свойствами глины и ее составом. Величина a' возрастает с уменьшением содержания в породе глинистой фракции, так как только глинообразующие минералы связывают своим силовым полем воду, ограничивая свободу ее перемещения. У монтмориллонитовых глин a' в 10—15 раз меньше, чем у каолинитовых, так как монтмориллонитовые минералы наиболее прочно связывают воду в силу ранее рассмотренных особенностей их строения. При одинаковой степени запесоченности глины, содержащие крупнозернистый песок, обладают бо̀льшим a', поскольку они образуют более крупные капилляры, обусловливающие меньшее гидродинамическое сопротивление перемещению влаги. Величина a' зависит от температуры глиняной массы, увеличиваясь пропорционально четырнадцатой степени абсолютной температуры, и от начальной влажности глины, возрастая с увеличением влажности массы, что объясняется уменьшением интенсивности связи влаги с материалом по мере возрастания толщины гидратных оболочек.

Величина a' дает не только качественное представление о сравнительных влагопроводных свойствах глины, но имеет также и расчетное значение, поскольку входит в уравнения, по которым рассчитывается режим сушки.

Чувствительность глин к сушке характеризует их трещиностойкость в этом процессе. Причиной возникновения трещин является неодинаковая величина усадки по сечению и по поверхности изделия, в результате чего на поверхности изделия или внутри него возникают напряжения. Когда их величина превосходит предел прочности материала, образуются трещины [10]

Показателем трещиностойкости глин в сушке в практике лабораторных испытаний глин принят коэффициент чувствительности глин к сушке $K_ч$, предложенный З. А. Носовой [11]:

$$K_ч = \frac{V}{V_0\left(\frac{G_0 - G}{V_0 - V} - 1\right)}, \quad (8)$$

где V_0 и G_0 — соответственно объем и вес влажного образца непосредственно после формования; V, G — то же, образца, высушенного при 16—20° С.

Физический смысл этого показателя состоит в том, что он выражает отношения между объемом усадки и объемом пор в образце.

По величине $K_ч$ НИИСтройкерамика классифицирует глины на три класса:

малочувствительные . .	$K_ч<1$
среднечувствительные .	$K_ч=1 \div 1{,}5$
высокочувствительные .	$K_ч>1{,}5$

А. С. Беркман и И. Г. Мельникова показали, что глина с $K_ч<0{,}5$ также обнаруживает низкую трещиностойкость в сушке и должна быть отнесена к классу высокочувствительных.

Увеличение прочности глин способствует повышению трещиностойкости. Предел прочности различных глин при растяжении зависит от влажности глин, а для одной и той же влажности — от состава глины. Прочность глины возрастает с увеличением содержания в ней глинистой фракции. Поэтому добавка высокопластичной глины к запесоченной в некоторых случаях способствует снижению брака кирпича и черепицы в сушке. У монтмориллонитовых глин прочность выше, чем у каолинитовых. Однако закономерной связи между прочностью глин и ее трещиностойкостью в сушке не отмечается [12]. Наоборот, между растяжимостью глин и их трещиностойкостью в сушке такая связь существует. Поэтому М. М. Наумов, например, считает этот показатель одним из определяющих трещиностойкость глиняных изделий при их сушке. Надежных данных о зависимости растяжимости глин от их состава пока не имеется.

С повышением коэффициента усадки трещиностойкость глин понижается, а с повышением влагопроводящей способности — возрастает. Этим объясняется, почему запесоченные глины менее чувствительны к сушке, чем «жирные» глины с высоким содержанием глинистой фракции. Однако это правило оправдывается лишь в том случае, если примесь песка в глине является крупнозернистой. Наличие в глине большого количества тонкодисперсного песка (шлюфа) сильно отощает глину, снижая ее усадку, но в то же время снижает и ее прочность, растяжимость и существенно не увеличивает влагопроводящих свойств глины, так как поры в этом случае получаются мелкие с большими гидродинамическими сопротивлениями. Поэтому такие глины, имея формально низкий $K_ч$, оказываются в то же время нетрещиностойкими, т. е. высокочувствительными к сушке.

Таким образом, на трещиностойкость керамических изделий в сушке оказывают совокупное влияние прочность, растяжимость, усадочные и влагопроводящие свойства глины.

Термические свойства

Термические свойства проявляются в процессе нагрева глины при высоких температурах. Важнейшими из них являются огнеупорность, огневая усадка, спекаемость и интервал обжига.

Огнеупорностью называют свойство керамических материалов и изделий противостоять воздействию высоких температур, не расплавляясь. Показателем (количественной мерой) огнеупорности является температура, при которой образец из данного материала, имеющий форму трехгранной усеченной пирамиды (условно именуется «конусом»), деформируется под влиянием собственной тяжести, касаясь при этом своей вершиной керамической подставки.

Под огнеупорностью глины понимают условную температуру ее плавления. Условной эта температура является потому, что глинистая порода не представляет собой мономинеральное вещество, а является полидисперсной системой. Поэтому она не имеет строго определенной температуры плавления, а плавится в некотором интервале температур. В связи с этим за температуру плавления глины условно принимают показатель ее огнеупорности. Согласно ГОСТ 9169—59 глины по огнеупорности делятся на три класса: огнеупорные — огнеупорность выше 1580° С, тугоплавкие — от 1350 до 1580° С и легкоплавкие — ниже 1350° С.

Огнеупорность глины зависит от ее химического состава: глинозем повышает огнеупорность глины, кремнезем тонкодисперсный понижает, а крупнозернистый повышает огнеупорность. Примеси щелочных металлов являются наиболее сильными плавнями (флюсами) — веществами, понижающими температуру плавления глины. Окислы щелочноземельных металлов также являются плавнями, но их флюсующее действие проявляется при более высокой температуре.

Огнеупорность керамических материалов, содержащих в своем составе железистые окислы, зависит еще от химического характера газовой среды при обжиге: восстановительная среда существенно понижает огнеупорность вследствие того, что окись железа восстанавливается в закись, а последняя, обладая большой реакционной способностью, образует с кремнеземом файялит $2FeO \cdot SiO_2$, имеющий температуру плавления 1205° С.

Спекаемость является вторым очень важным термическим свойством глин. Под спекаемостью глин понимают их способность при обжиге уплотняться с образованием твердого камнеподобного черепка.

Спекание глин может происходить вследствие стягивания и склеивания твердых частиц жидкой фазой — силикатными расплавами, образующимися при обжиге глины (жидкостное спекание), вследствие рекристаллизации минералов, составляющих керамическую массу, и благодаря реакциям в твердой фазе между отдельными компонентами глины или продуктами их распада (твердофазовое спекание). Результатом процесса спекания является уплотнение обжигаемого материала и, как следствие,

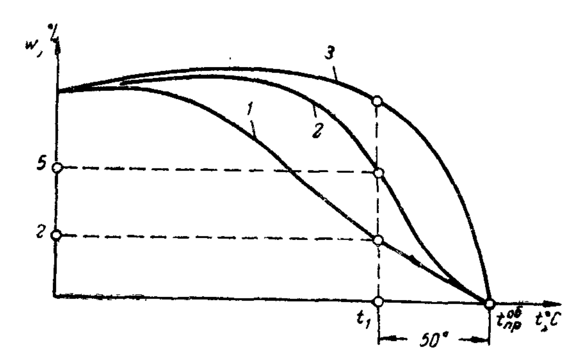


Рис. 13. Кривые спекаемости глин

1 — сильноспекающаяся; *2* — среднеспекающаяся; *3* — неспекающаяся

уменьшение его открытой пористости. Поэтому степень спекания контролируется водопоглощением керамического черепка и спекшимся считается черепок, имеющий водопоглощение не ниже 5%. В связи с этим спекаемость иногда определяют как способность глины давать без признаков пережога керамический черепок с водопоглощением менее 5%. Признаками пережога считаются деформация образца, видимое вспучивание или снижение объемного веса более чем на 0,1 *г/см³*.

По ГОСТ 9169—59 глины в зависимости от степени спекания классифицируются на три группы:

Группа глинистого сырья	Водопоглощение черепка в %
Сильноспекающиеся	Не более 2
Среднеспекающиеся	Не более 5
Неспекающиеся	Более 5

Указанные значения водопоглощения должны быть не менее чем в двух температурных точках с интервалом 50°. Смысл этого условия иллюстрируется рис. 13, на котором нанесены кривые зависимости водопоглощения керамического черепка от температуры обжига для трех глин. Все три глины имеют в данном случае одну и ту же предельную температуру обжига $t_{пр}^{об}$, при превышении которой отмечаются признаки пережога. При тем-

пературе t_1, которая на 50° ниже $t_{пр}^{об}$, глина *1* дает черепок с водопоглощением 2%. В интервале $t_{пр}^{об} - t_1 = 50°$ черепок из этой глины имеет водопоглощение ниже 2% и не обнаруживает признаков пережога. Следовательно, эта глина будет сильноспекающейся. Глина *2* в этом же интервале температур имеет водопоглощение более 2%, но менее 5%, что определяет эту глину как среднеспекающуюся. И, наконец, глина *3* в указанном интервале температур имеет водопоглощение более 5% и, следовательно, является неспекающейся.

Спекание у глин может происходить при различных температурах. Поэтому ГОСТ 9169—59 предусматривает классификацию глин на три группы еще и по температуре спекания.

Группа глинистого сырья	Температура спекания в °С
Низкотемпературного спекания	До 1100
Среднетемпературного спекания	Свыше 1100 до 1300
Высокотемпературного спекания	Свыше 1300

Спекаемость является важнейшим признаком, определяющим пригодность глин для производства многих керамических изделий — канализационных труб, плиток для полов, кислотоупорных изделий.

Степень спекаемости глин характеризуют также температурным интервалом спекания, под которым понимают для легкоплавких глин:

$$\Delta t_{сп} = t_{w=1\%} - t_{w=5\%},$$

а для огнеупорных глин

$$\Delta t_{сп} = t_{ог} - t_{w=2\%},$$

где $t_{w=5\%}$, $t_{w=2\%}$, $t_{w=1\%}$ — температуры, при которых черепок приобретает водопоглощение соответственно 5, 2 и 1%, а $t_{ог}$ — температура огнеупорности глин.

Глинозем увеличивает интервал спекания глин, окись кальция резко его понижает, щелочные окислы, в особенности Na_2O, расширяют интервал спекания. У каолинитовых глин интервал спекания, как правило, выше, чем у монтмориллонитовых. Запесоченность глин резко снижает их интервал спекания. Наименьшим интервалом спекания (примерно 50—100°) обладают легкоплавкие глины, лёссовые глины почти совсем его не имеют, наибольшее его значение (до 400°) у огнеупорных глин.

Интервал спекания определяет возможность обжига изделий в печах, характеризующихся определенным перепадом температур между верхом и низом печи.

Рассмотрим такой пример: глины имеют $t_{пр}^{об} = 1200°$ С, $t_{w=5\%} = 1170°$ С, $\Delta t_{сп} = 1200 - 1170 = 30°$. Печь по своей теплотехниче-

ской характеристике дает температурный перепад $\Delta t_п$ между верхом $t_в$ и низом $t_н$ 80°. Если температуру обжига принимать по температуре нижних рядов садки, т. е. так, чтобы внизу не было недожога ($t_н \geqslant t_{w=5\%}$, левая часть рис. 14), то верхние ряды изделия окажутся пережженными. Если, наоборот, вести обжиг так, чтобы вверху не было пережога и соблюдать условия $t_в \leqslant 1200°$ С, то нижние ряды изделий окажутся недожженными (правая часть рис. 14). Это говорит о том, что при данном интервале спекания изделия в печи доброкачественно обжечь невозможно, необходимо либо расширить температурный интервал

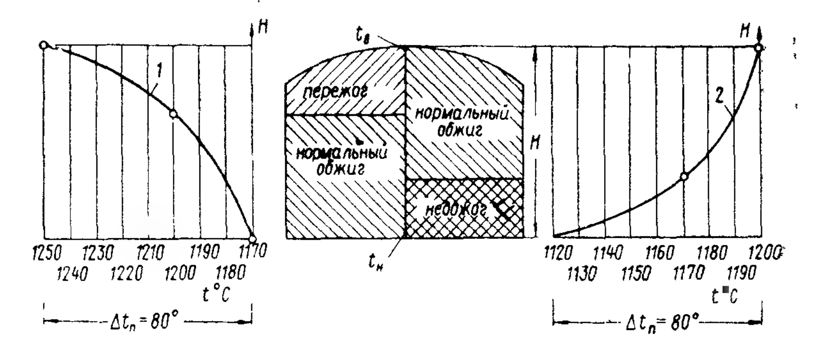


Рис. 14. Схема влияния интервала спекания глин на качество обожженных изделий. Распределение температуры по высоте печи

1 — при $t_н = t_{w=5\%}$; *2* — при $t_в = t^{об}_{пр}$

спекания керамической массы введением соответствующих добавок, либо повысить равномерность обжига различными конструктивными и эксплуатационными приемами, в крайнем случае и снижением высоты печи.

Для некоторых видов керамических изделий низкое водопоглощение черепка является необязательным или даже недопустимым. В этих случаях температурные границы, в пределах которых можно вести обжиг изделий, определяет не интервал спекания, а интервал обжига. Под интервалом обжига понимают температурные границы, в пределах которых изделие при обжиге приобретает свойства, регламентированные действующими ГОСТами и ТУ. Так, например, для строительного кирпича минимальная температура обжига будет ограничена достижением прочности, соответствующей марке 50 (минимальная марка кирпича, допускаемая ГОСТ 530—54), а максимальная — водопоглощения черепка, равным 8% (ГОСТ 530—54 устанавливается, что кирпич должен иметь водопоглощение не ниже 8%). Интервал температур, в пределах которого соблюдаются эти величины, и будет интервалом обжига (рис. 15). Интервал обжига по своей величине много больше интервала спекания. Этим объясняется то, что глины с очень малым интервалом спекания оказываются пригодными для обжига кирпича в печах с относительно большими перепадами температур.

Огневая усадка представляет собой сокращение размеров абсолютно сухого глиняного образца при его обжиге. Сближение глинистых частиц происходит в обжиге под воздействием сил поверхностного натяжения, носителем которых является жидкая фаза, возникающая в материале в виде силикатных

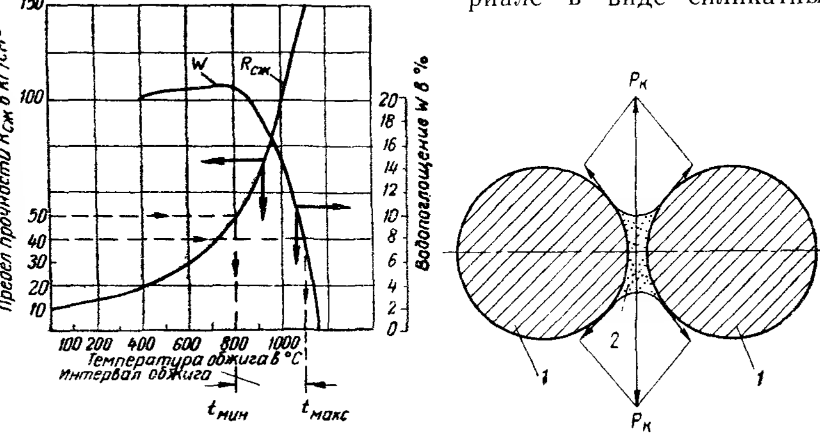


Рис. 15. Схема, поясняющая понятие интервала обжига кирпича

Рис. 16. Схема действия сил поверхностного натяжения, обусловливающих огневую усадку

расплавов. Механизм стягивающего действия этих сил схематически изображен на рис. 16. Как только между двумя твердыми частицами *1* окажется капля жидкого расплава *2* с вогнутыми менисками, она под влиянием сил поверхностного натяжения будет растекаться по поверхности твердых частиц. Равнодействующая этих сил и образует силу капиллярного давления $P_к$, которая будет растягивать каплю жидкости, сближая твердые частицы.

Усадочные явления при обжиге количественно характеризуются величиной огневой усадки $У_{ог}$

$$У_{ог} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} 100\%, \quad (9)$$

где l_1 и l_2 — соответственно линейные размеры абсолютно сухого и обожженного образцов.

Огневая усадка глин колеблется в пределах от 2 до 8% и достигает в отдельных случаях 14%. С увеличением содержания глинистой фракции усадка возрастает. Сильно запесоченные глины могут совсем не давать усадки и даже обнаруживать в обжиге «рост» (усадка в этом случае получает отрицательный знак). Монтмориллонитовые глины имеют бо́льшую огневую

усадку, чем каолинитовые. Щелочные окислы всегда повышают огневую усадку, а железистые — лишь при обжиге в восстановительной среде. С повышением температуры обжига усадка, как правило, возрастает. По этой причине неравномерно обожженные изделия могут иметь заметный разброс в размерах.

§ 2. КАОЛИНЫ

Каолинами называются мономинеральные глинистые горные породы, глинистая фракция которых представлена исключительно каолинитом. Каолины характеризуются меньшей, чем глины, пластичностью и повышенной белизной обожженного черепка.

Каолин содержит примеси в виде не вполне выветрившихся обломков горной породы, из которой он образовался. Значительную часть этих примесей можно удалить отмучиванием. В зависимости от химического характера примесей различают: чистый каолин, который содержит не более 6% кварца и не более 2% щелочей; щелочный каолин, содержащий до 5—7% окисей калия и натрия; кремнеземистый каолин с содержанием до 20% и более примеси тонкого кварцевого песка; щелочно-кремнеземистый каолин, содержащий одновременно значительное количество кварца и щелочей; железистый каолин с содержанием более 2% окиси железа, которая окрашивает его в желтый цвет и делает непригодным для производства фарфора и фаянса.

Каолины, как правило, обогащаются на месте их добычи. Для керамических предприятий поставляют каолин, обогащенный мокрым способом.

Действующими ГОСТами на каолины для производства тонкой керамики нормируется предельное содержание химических и механических примесей и влажность. Кроме того, для каолинов определяют еще два показателя, характеризующие их рабочие свойства, — «упругость» и «порог коагуляции».

Под упругостью каолиновой суспензии понимают разницу между ее плотностью, определяемой ареометром, и удельным весом той же суспензии в пределах 1,35—1,37, определяемым пикнометром.

По показателю упругости различают три группы каолинов:

Группа каолина	Показатель упругости
I	0,01—0,05
II	0,05—0,4
III	0,4 и более

Под порогом коагуляции понимают такое состояние суспензии каолина, при котором исчезают структурообразования, препятствующие погружению ареометра до метки, отвечающей пикнометрическому удельному весу, вследствие чего показатель упругости падает до нуля.

§ 3. НЕПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ДОБАВКИ

Помимо пластичного сырья — глин и каолинов — для изготовления керамических изделий используются непластичные сырьевые материалы и различного рода добавки. К их числу относятся отощающие, флюсующие, выгорающие, химические и специальные.

1. Отощающие материалы

Такими называют материалы, снижающие пластичность и воздушную усадку глин.

Кварцевые материалы являются наиболее распространенными природными отощающими материалами. К ним относятся жильный кварц, кварцевые пески и кремень. Они состоят главным образом из кремнезема и применяются в производстве керамических изделий как отощители благодаря своей особенности не давать усадки при сушке и обжиге.

Кварц и его кристаллические разновидности весьма устойчивы против разъедающего действия кислот (за исключением плавиковой) и менее стойки по отношению к щелочам, причем степень воздействия щелочей на кварц тем выше, чем меньше его зерна. При нагревании до 1710° С кварц превращается в кремнеземное стекло. В качестве заменителей жильного кварца применяются чистые кварцевые пески, а также пески, получаемые при отмучивании каолинов.

Пылевидный кварц (маршалит) представляет собой природный пылевидный кварцевый материал от серовато-белого до чисто белого цвета, обладающий высокой дисперсностью. Он не является чистым кремнеземом, так как содержит значительное количество щелочных и щелочноземельных окислов. Маршалит применяется как отощитель в производстве изделий тонкой керамики.

Кремень представляет собой кристаллическую разновидность кремнезема и встречается в природе в виде кусков различной формы, а также желваков натечных образований бурого и серого цветов. После предварительного обжига лучшие сорта кремня используют как отощители в производстве изделий тонкой керамики. Кремневую гальку применяют в качестве мелющих тел в шаровых мельницах для измельчения керамических масс и глазурей.

При оценке кварцевого сырья существенное значение имеет его чистота. Вредны примеси, снижающие качество кварцевых материалов, а в случае высокого содержания их в сырье — даже исключающие возможность его применения. Сюда относятся окрашивающие примеси: окислы железа, двуокись титана, слюда (биотит) и другие железистые силикаты.

Шамот изготовляют путем обжига огнеупорных или тугоплавких глин при температурах 1000—1400° С. Его применяют как отощитель керамических масс, для производства капселей

и других огнеупорных шамотных изделий. Шамот в отличие от других отощителей не понижает огнеупорности масс. Зерновой состав и количество шамота определяются рецептурой массы применительно к тому или иному виду изделий.

На фарфоро-фаянсовых заводах вместо шамота для отощения массы применяют измельченный бой готовых изделий («череп»), некоторые заводы с этой же целью применяют капсельный бой, который предварительно сортируют и очищают от загрязнений.

На кирпичных заводах в качестве шамота используют порошок, получаемый помолом отходов обожженного кирпича. Однако практически количество таких отходов невелико (2—3%) и поэтому он не оказывает заметного влияния на свойства масс. В связи с этим переработку отходов обожженного кирпича в порошок и возврат его в производство следует рассматривать как операцию, предназначенную для создания «замкнутого цикла производства», при котором исключается накопление больших масс отходов, загрязняющих территорию завода.

Дегидратированная глина получается путем нагревания обычной глины до 600—700° С, когда она теряет свои пластические свойства вследствие удаления химически связанной воды. Такая глина применяется в качестве отощителя при производстве изделий грубой строительной керамики. Это позволяет намного снизить сроки сушки без опасения появления трещин на изделиях.

2. Флюсующие материалы (плавни)

К плавням относятся такие материалы, которые в процессе обжига вступают во взаимодействие с глинистым веществом, образуя более легкоплавкие соединения, чем чистое глинистое вещество. Поэтому введение в состав керамической массы плавней способствует повышению степени спекания и снижению ее температуры.

Плавни можно разбить на две основные группы:

флюсующие, действие которых обусловливается низкой температурой их плавления. Сюда относятся полевые шпаты, пегматиты, сиениты;

материалы с высокой температурой плавления, но дающие при обжиге легкоплавкие соединения с отдельными компонентами керамической массы. К этой группе относятся мел, доломит, тальк и др.

Полевые шпаты представляют собой плавни, которые широко применяются в производстве изделий тонкой керамики. Различают следующие разновидности полевых шпатов.

Калиевый полевой шпат (ортоклаз) $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Цвет его — белый, серый, желтоватый, коричнево-красный, темно-красный. Удельный вес 2,55—2,59. Начинает плавиться при температуре около 1200° С.

Натриевый полевой шпат (альбит) $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Цвет — белый, иногда светлых оттенков красного, желтого, серого и других тонов. Удельный вес 2,6, температура плавления 1160—1190° С.

Известковый полевой шпат (анортит) $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ желтоватого цвета. Температура плавления около 1550° С.

Плагиоклазы — полевые шпаты, содержащие альбит и анортит в различных пропорциях. Обычно белого цвета. Удельный вес 2,62—2,76.

Полевые шпаты редко встречаются в чистом виде, обычно — в виде смешанных минералов. Основное требование, предъявляемое к полевым шпатам, — легкоплавкость. При обжиге изделий полевые шпаты, входящие в состав массы, плавятся, образуя вязкое стекло, которое в фаянсовых массах частично заполняет поры и как бы склеивает частицы. В фарфоровых массах полевой шпат вместе с другими составными частями образует сплавы, заполняющие промежутки между частицами материалов.

Растворяющая способность полешпатового расплава возрастает с повышением температуры обжига и тонкости помола компонентов. У альбитовых расплавов она выше, чем у ортоклазовых и плагиоклазовых.

Особенно вредной примесью в полевых шпатах являются окислы железа, содержание которых в первосортном сырье не должно превышать 0,1—0,2%.

Пегматиты представляют собой полевые шпаты, проросшие кристаллами кварца, содержание которого может колебаться в довольно широких пределах. Ввиду того что и кварц, и полевой шпат являются компонентами фарфоровых и фаянсовых масс, пегматиты используются в качестве заменителей полевых шпатов и частично кварца. Поведение пегматита в обжиге определяется свойствами составляющего его полевого шпата, т. е. его температурой плавления и растворяющей способностью.

Нефелиновые сиениты представляют собой сростки минерала нефелина (алюмосиликат натрия) с полевым шпатом. Температура плавления нефелина около 1200° С, содержание щелочей — 20—30%. Нефелиновые сиениты используются керамической промышленностью в качестве заменителей полевых шпатов при производстве изделий, не требующих белизны черепка (плитки для полов, кислотоупорные изделия). Нефелиновые сиениты, применяемые в керамической промышленности, являются попутными отходами горнообогатительных комбинатов и получаются в виде тонкомолотых порошков. Поэтому их использование представляет особый экономический интерес. Но вследствие загрязненности нефелиновых сиенитов железистыми примесями и отсутствия эффективных методов отделения последних нефелиновые сиениты в производстве фаянса и фарфора пока не применяются.

Наряду с нефелиновым сиенитом ведутся успешные опыты

по использованию других щелочесодержащих пород в качестве заменителей полевых шпатов, например гранитов.

Мел и мрамор $CaCO_3$. При нагревании до 910° С все разновидности природного углекислого кальция разлагаются на CO_2 и CaO (известь)

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2.$$

В период диссоциации $CaCO_3$ является отощающей и разрыхляющей примесью. При более высоких температурах, начиная с 1000° С, CaO вступает в реакцию с составными частями массы. Скорость реакции возрастает с повышением температуры обжига. Одновременно увеличивается количество легкоплавких соединений, в состав которых входит CaO. Присутствие извести в глинистых материалах и в керамических массах, с одной стороны, понижает температуру плавления и спекания их, а с другой, — резко уменьшает интервал между плавлением и спеканием, затрудняя обжиг и создавая опасность деформации изделий.

В состав керамических масс обычно вводят мел, так как он состоит из более тонких частиц, легче размалывается и дешевле мрамора. Однако после обжига мел дает более темную, чем мрамор, окраску черепка. Добавка мела в массы, обжигаемые не до спекания и покрываемые глухими свинцово-оловянными глазурями, полезна, так как при этом повышается пористость изделий, в результате чего лучше закрепляется глазурь.

Доломит является двойной солью — $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Разновидности доломита используются как заменители мрамора в производстве изделий тонкой керамики. Температура диссоциации доломита 765—895° С. Он оказывает на керамические массы более сильное флюсующее действие, чем чистые карбонаты кальция или магния, что позволяет соответственно снизить температуру обжига масс и глазурей.

Тальк $4SiO_2 \cdot 3MgO \cdot H_2O$ имеет огнеупорность 1500—1520° С. Плотная разновидность талька называется жировиком, или стеатитом. На Урале стеатиты, содержащие кроме талька в значительном количестве и другие минералы, называют тальковым камнем. Характерное свойство талька — мягкость, благодаря чему из природного камня можно вытачивать различные изделия (сосуды, чаши и др.). В начале XX в. тальк стали применять в виде порошка, используя при этом другие его природные свойства — жирность, белизну, прилипаемость, гидрофобность. В настоящее время тальк приобрел большое значение в тонкой керамике: его добавляют в массу при производстве специальной керамики и капселей. Добавка талька в фаянсовую массу предотвращает образование трещин в глазурном слое — «цека» — и повышает термостойкость изделий. Разновидности талька, используемые в тонкой керамике, должны иметь однородный состав: содержание окислов железа не должно превышать 0,3—0,6, а CaO — 0,2—1,9%.

3. Выгорающие добавки

Эти добавки обладают общим свойством — выгорать в обжиге почти целиком (за исключением зольной части). В технологии керамики они применяются главным образом при производстве стеновых материалов. Назначение и характер действия различных добавок неодинаковы.

Древесные опилки при производстве строительного кирпича вводятся в массу для улучшения сушильных свойств полуфабриката (сырца). Являясь длинноволокнистыми, опилки армируют глинистые частицы и повышают сопротивление разрыву керамической массы, а вместе с этим и ее трещиностойкость в сушке.

В обжиге опилки выгорают, оставляя в черепке относительно крупные поры, увеличивающие водопоглощение кирпича и его морозостойкость. В кирпичные массы добавляют обычно 8—12% опилок (от объема глины). В таком количестве они существенно не снижают прочность кирпича, несмотря на то, что несколько и увеличивают его пористость. Наиболее эффективно повышают трещиностойкость кирпича опилки продольной резки.

Антрацит и тощие каменные угли добавляют в глину в количестве 60—80% от необходимого на обжиг количества топлива, что составляет 2—2,5% объема глины. В таких количествах каменный уголь не оказывает существенного влияния на пористость кирпича. Основное назначение добавки каменного угля — создать восстановительную среду в толще обжигаемого материала. Благодаря этому интенсифицируется процесс спекания и упрочнения керамического черепка. В изломе кирпича, обожженного из глины с добавкой угля, хорошо видна темно-малиновая уплотненная зона, которая обеспечивает повышенную прочность кирпича.

Бурые угли добавляют в глину с той же целью. При их использовании увеличиваются потери с химическим недожогом вследствие выделения летучих горючих веществ при температурах ниже температуры их воспламенения. Но зато выделение тепла и газов происходит более равномерно и в более широком температурном интервале, чем при вводе антрацита, благодаря чему почти не возникает опасности пережога кирпича, и его обжиг можно вести более уверенно и свободно.

Золы ТЭЦ также используются в качестве добавок в глину при производстве кирпича. Они действуют как отощители, а при наличии в них механического недожога (невыгоревшего коксового остатка) — также и как выгорающие добавки.

Помимо перечисленных добавок при производстве отдельных видов керамических материалов и изделий используются многие добавки специального назначения. Их характеристика и влияние будут рассмотрены при описании технологии соответствующих видов изделий.

Часть вторая

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИКИ

Несмотря на то что производство каждого вида керамических изделий имеет свои особенности, некоторые производственные процессы являются общими для многих или нескольких видов керамических изделий.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ
КАРЬЕРНЫЕ РАБОТЫ

Каолины, огнеупорные и тугоплавкие глины являются почти всегда покупным сырьем и поставляются керамическим заводам специализированными предприятиями, занимающимися добычей этого сырья. Легкоплавкие же глины, за редким исключением, являются местным сырьем. Их добыча производится самими керамическими предприятиями, и в составе этих предприятий имеется горный цех, называемый обычно карьером.

Комплекс операций, связанных с добычей и доставкой глины в производство, именуется карьерными работами. Он включает вскрышные работы, добычу глины, транспорт глины и хранение промежуточного запаса глины.

§ 1. ВСКРЫШНЫЕ РАБОТЫ

Под вскрышными работами понимают работы, связанные с удалением пустых пород, покрывающих слой полезного ископаемого.

При мощности вскрышного слоя порядка 0,5 *м* (и максимально до 1 *м*) и расстояниях транспортирования до места отвала не более 200 *м* вскрышной слой удаляют бульдозером, который в этом случае используется как землеройный и транспортный снаряд. Бульдозер устойчив в работе даже на тяжелых грунтах и в дождливую погоду, что является его несомненным достоинством. Выработка на 1 машино-смену в зависимости от категории грунта и расстояний транспортирования составляет 65—350 $м^3$. Стоимость разработки 1 $м^3$ грунта — от 3 до 17 коп.

При мощностях вскрышного слоя более 1 *м*, расстояниях транспортирования до 1 *км* и грунтах I—III категории вскрышные работы производят тракторным скрепером, выполняющим также землеройные и транспортные операции. В дождливое время скрепер недостаточно устойчив в работе вследствие налипания глины на стенки ковша. При тяжелых плотных грунтах ковш иногда скользит по поверхности грунта, не врезаясь в его толщу. Выработка на машино-смену составляет 85—200 $м^3$, стоимость разработки 1 $м^3$ — от 3 до 22 коп.

При мощных слоях вскрышных пород с тяжелыми грунтами и расстояниях транспортирования более 1 *км* их разрабатывают одноковшовыми экскаваторами, а транспортируют автосамосвалами. Выработка на машино-смену составляет 130—380 $м^3$, стоимость разработки и транспорта 1 $м^3$ — от 22 до 30 коп.

Необходимый объем вскрышных работ можно подсчитать по формуле

$$V = Q \frac{h_в}{h_г}, \qquad (10)$$

где V — объем вскрышных работ в $м^3/год$; Q — годовой расход глины в $м^3$ плотного тела; $h_в$, $h_г$ — соответственно мощности вскрышного слоя и слоя глины в *м*.

§ 2. ДОБЫЧА ГЛИНЫ В ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ

Для добычи глин преимущественно используют многоковшовые, одноковшовые и роторные экскаваторы и канатные скреперы. Выбор метода добычи должен быть увязан с мощностью глиняного пласта и характером залегания глины.

Различают следующие залегания глин: однородное (рис. 17, *а*), послойное с выдержанной толщиной слоев (рис. 17, *б*), послойное с неравномерным напластованием (рис. 17, *в*) и линзообразное (рис. 17, *г*).

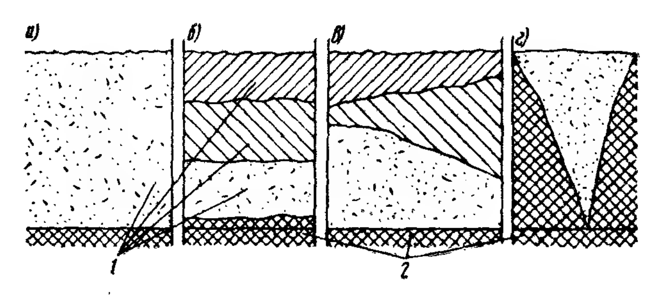


Рис. 17. Характер залегания глин
1 — глины; *2* — пустая порода

При однородном залегании глин соображения технологии не ограничивают выбор метода добычи, и последний определяется лишь экономическими факторами. Если месторождение представлено рыхлым однородным напластованием, то для добычи глины с успехом применяют канатно-скреперные установки. При послойном и в особенности неравномерном напластовании глин

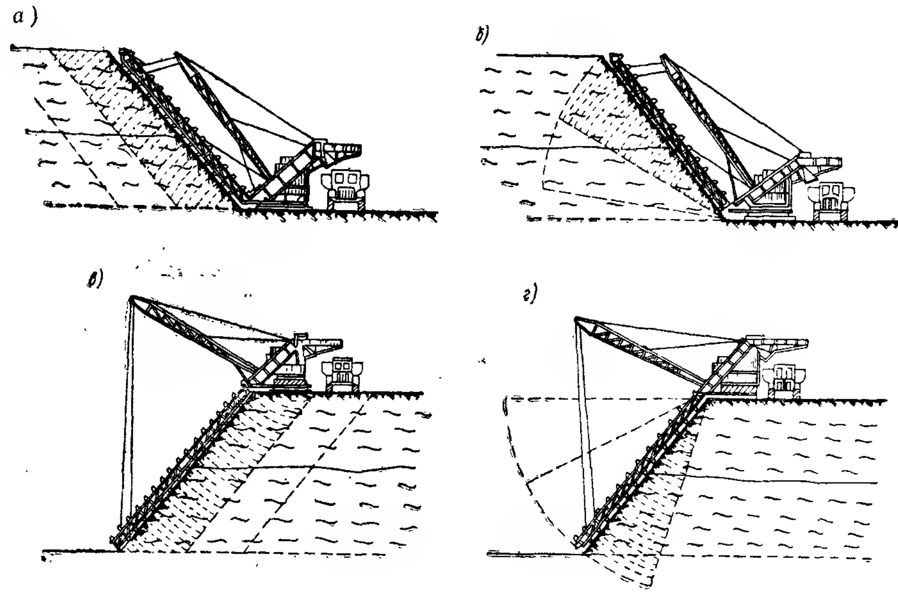


Рис. 18. Системы работ многоковшовых экскаваторов

а — верхнее черпание с параллельной резкой; *б* — верхнее черпание с радиальной резкой; *в* — нижнее черпание с параллельной резкой; *г* — нижнее черпание с радиальной резкой

соображения технологии обусловливают целесообразность применения только многоковшовых экскаваторов: они при добыче производят первичное перемешивание глины и усреднение ее состава, так как режут глину относительно тонкой стружкой одновременно по всей высоте и длине фронта добычи.

Многоковшовые экскаваторы могут работать с параллельной (рис. 18, *а*) и радиальной (рис. 18, *б*) резкой. Во всех случаях параллельная резка предпочтительна, так как поверхность выработанного карьера остается ровной. При послойном залегании глин многоковшовые экскаваторы должны работать только с параллельной резкой, поскольку при радиальной резке состав глины, поступающей в производство, будет все время меняться. Многоковшовые экскаваторы могут работать с верхним (рис. 18, *а* и 18, *б*) и нижним (рис. 18, *в* и 18, *г*) черпанием. Выбор той или иной системы черпания зависит в основном от рельефа местности и транспортных условий.

Несмотря на то что многоковшовые экскаваторы в технологическом отношении более эффективны, нежели одноковшовые (и даже чем роторные), тем не менее за последние 15 лет отмечается интенсивное вытеснение в отечественной кирпичной промышленности многоковшовых экскаваторов одноковшовыми. Это объясняется тем, что многоковшовые экскаваторы отечественного производства выпускаются на колесном ходу и, следовательно, перемещаться могут только по рельсам. Передвижка рельсов по мере перемещения фронта разработки является очень тяжелой и трудоемкой работой, повышающей стоимость добычи глины. Одноковшовые экскаваторы имеют гусеничный ход, что значительно упрощает их эксплуатацию. Нормативная трудоемкость добычи глины составляет: многоковшовыми экскаваторами на колесном ходу — 1,04, а одноковшовыми на гусеничном ходу — 0,36 *чел.-час/м*³ [13]. Наилучшим решением как по экономической, так и по технологической эффективности является добыча глины многоковшовыми экскаваторами на гусеничном ходу. Такие экскаваторы созданы черкасскими кирпичными заводами дооборудованием серийных экскаваторов ЭМ-202 гусеничным ходом от тракторов ДТ-54 [14].

§ 3. ДОБЫЧА ГЛИНЫ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Поступление в производство мерзлой глины недопустимо. Это вызывает в изделиях определенные пороки, приводящие к браку, повышает нагрузку на глиноперерабатывающие и добычные машины, вследствие чего учащаются их поломки и аварии. Поэтому в производство в зимнее время должна подаваться только талая глина, что вызывает необходимость утепления карьеров, если глину добывают в зимнее время. Существует несколько способов утепления карьеров.

1. Мягкое утепление

При этом способе утепления с участка, предназначенного для добычи глины в зимнее время, удаляется вскрышной слой, а поверхностный слой вспахивают на возможно большую глубину. Затем на поверхность участка завозят утеплитель — опилки, предварительно просеянные, хранящиеся в штабеле. С наступлением первых заморозков опилки расстилают по поверхности участка, предохраняя толщу глины от промерзания. Преждевременная укладка опилок, особенно в дождливый период, приводит к их сильному намоканию и резкому снижению теплозащитных свойств. Предварительное рыхление уменьшает глубину промерзания и тем самым снижает потребность в утеплителе. По теплозащитным свойствам слой рыхленого грунта толщиной 1 *см* эквивалентен слою опилок толщиной 1,7 *см* [15]. Фронт добычного забоя также утепляется опилками. Добы-

чу ведут открытым способом, чаще всего многоковшовыми экскаваторами. Отработанные участки фронта утепляют плитными мягкими переносными утеплителями (соломенные и минераловатные маты, мешки, наполненные опилками, и т. п.).

Для уменьшения расхода опилок обычно весь зимний сезон разбивают на три периода и для каждого периода в отдельности рассчитывают толщину утепляющего слоя.

Относительными достоинствами этого способа являются сравнительно небольшие первоначальные затраты на утепление карьера. Но ему присущи серьезные недостатки: работа людей в зимнее время на открытом воздухе затруднена, при сильных морозах повышается хрупкость металла, глина намерзает на ковши, лоток и бункер экскаватора, в связи с чем учащаются его поломки, экскаватор необходимо специально утеплять и отапливать для возможности работы в нем машиниста. Этот способ оправдал себя в центральных и южных районах страны, где суровая зима с длительными сильными морозами явление довольно редкое.

2. Жесткое утепление

В климатических районах с суровой устойчивой зимой (Урал, Сибирь, Дальний Восток) применяют жесткое утепление с разработкой карьера закрытым способом.

Наиболее простым, хотя и примитивным утеплением является устройство деревянных настилов. В летнее время с участка, предназначенного для зимней добычи глины, удаляют вскрышной слой и вокруг участка устраивают водоотводные каналы. Затем по поверхности участка укладывают из бревен прогоны, по ним из тонкомера — балки, по балкам делают настил из горбыля, накрывают его толем и с наступлением первых заморозков утепляют опилками. В торце участка заблаговременно устраивают небольшую въездную траншею и в торцовой стене — ворота для проезда транспорта. Глину добывают небольшими одноковшовыми экскаваторами с емкостью ковша 0,25—0,35 $м^3$, подставляя по мере выработки крепежные стойки под прогоны. Выработанное пространство обогревают сжиганием кокса на жаровнях, установленных около въездных дверей.

Этот способ обеспечивает надежную добычу талой глины в любых климатических условиях и относительно хорошие условия для работы людей и оборудования. Его недостатком является большой расход лесоматериалов, которые практически повторно не используются, а также высокая трудоемкость устройства самого утепления.

Более совершенным является покрытие из инвентарных металлических ферм с плитными утеплителями или добыча глины экскаватором под передвижной кровлей-щитом. Общий вид разработки глины по этому способу показан на рис. 19, продольный разрез разработки и вид с торца карьера — на рис. 20.

Вскрышу верхнего пласта производят экскаватором в осенний период перед надвижкой тепляка одновременно с рытьем траншей, после чего вся вскрытая площадь утепляется. Забой перекрывают сверху утепленным перекрытием, и от выработанной части карьера рабочую зону отделяют утепленной перегородкой-фартуком, показанной на рис. 20. Утепленное перекрытие

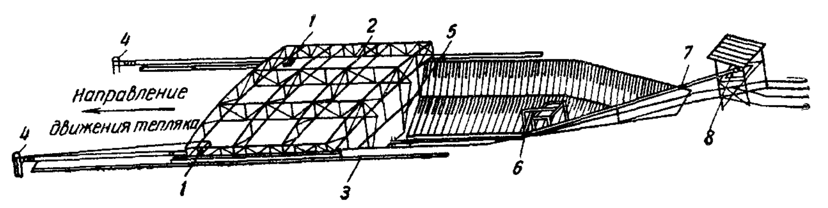


Рис. 19. Общий вид зимней разработки глиняного карьера под подвижным покрытием

1 — ручные трехтонные лебедки; *2* — металлический каркас тепляка; *3* — рельсы для передвижения тепляка; *4* — анкер; *5* — фермы фартука; *6* — отводной ролик для троса откатки вагонеток; *7* — трос откатки вагонеток; *8* — двухбарабанная пятитонная лебедка

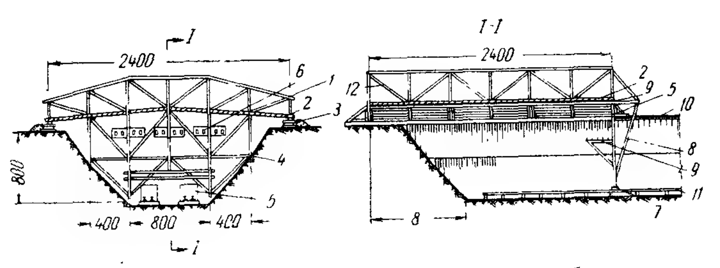


Рис. 20. Вид с торца и продольный разрез разработки

1 — фермы несущего каркаса; *2* — утепленная кровля; *3* — каток на рельсах; *4* — каркас фартука; *5* — отверстие в фартуке для вагонеток; *6* — окна; *7* — фартук; *8* — фермы фартука; *9* — площадка для огневого калорифера; *10* — рельсы для катков; *11* — рельсы для вагонеток

подвешивается внизу к несущему стальному каркасу, состоящему из четырех поперечных ферм пролетом 24 *м* с шагом 8 *м*, связанных между собой четырьмя продольными фермами жесткости. Перегородка-фартук подвешена к торцовой поперечной ферме. Забой разрабатывают электроэкскаватором с ковшом емкостью 0,5 $м^3$. Глина из забоя в вагонетках емкостью 2 $м^3$ канатом пятитонной двухбарабанной лебедки вывозится наверх, затем вагонетки электровозами по узкоколейному пути отвозят ее на кирпичный завод.

При низких температурах наружного воздуха рабочую зону в забое отапливают для создания воздушных завес у воротных проемов перегородки-фартука. Для этого на специальной площадке устанавливают огневоздушный калорифер производительностью 35—40 тыс. *ккал/ч*.

По мере выработки забоя кровля-щит периодически (один раз в семь дней) на катках, расположенных под нижним поясом боковых продольных ферм щита, по параллельно уложенным рельсам передвигается двумя ручными трехтонными лебедками, установленными на консолях впереди щита. Одновременно с передвижкой кровли-щита удлиняются пути для вагонеток.

Для перестановки кровли-щита на новое место разработки карьера в следующий зимний период приходится снимать только каркас перегородки-фартука, после чего можно передвигать кровлю-щит в поперечном направлении.

Иногда для организации добычи глины под инвентарными металлическими покрытиями на участке, освобожденном от вскрышного слоя, бурят скважины, в которых устанавливают железобетонные стойки или металлические трубы, поддерживающие в последующем перекрытие по мере выработки карьера. Несущими элементами покрытия являются в этом случае металлические прогоны и балки. Этот способ, сохраняя преимущества, присущие закрытому способу добычи, освобождает завод от ежегодного большого расхода лесоматериалов [15].

3. Оттаивание промерзшего грунта

Некоторые заводы не утепляют карьеры, а в летнее время удаляют вскрышной слой, завозят уголь на обнаженную поверхность участка и хранят его там штабелями. По мере необходимости поверхность участка, соответствующую примерно недельному расходу глины, очищают бульдозером от снега, на ней расстилают слой угля толщиной 20—35 *см* и уголь поджигают. Медленно сгорая, уголь отогревает промерзший слой глины. Длительность оттаивания составляет 6—10 суток при глубине промерзания 2—2,3 *м*. По мере оттаивания глины ее добывают одноковшовым экскаватором, вырабатывая траншею шириной, соответствующей двум радиусам разворота экскаватора.

Другой способ аналогичной разработки заключается в том, что фронт добычи с некоторым опережением отогревают газовыми горелками, присоединенными резиновыми шлангами к временному газопроводу, уложенному вдоль зимнего участка добычи. Глину добывают одноковшовым экскаватором.

На пермских кирпичных заводах промерзание грунта предотвращается вводом в него технической поваренной соли. Соль зернами крупностью до 2 *см* расстилается на поверхности вскрытого участка зимней добычи глины ровным слоем. Расход соли на 1 *га* — 10 *кг*, стоимость разработки — 450 руб.

Технико-экономические показатели некоторых способов зимней добычи глины приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технико-экономические показатели некоторых способов зимней добычи глины (на 1 $м^3$ глины)

Способы утепления	Суммарные трудозатраты в чел.-час.	Расход опилок в $м^3$	Расход лесоматериалов в $м^3$	Расход условного топлива в *кг*	Суммарные денежные затраты в руб.
Мягкое утепление	0,85—1,45	0,1	-	-	1,7
Жесткое деревянное покрытие	2,1	0,1	0,03	2	1,8
Металлическое покрытие	1,1	0,1	—	2	1,6
Оттаивание сжиганием угля	0,07	—	—	13	0,47

§ 4. ТРАНСПОРТ ГЛИНЫ

Карьерный транспорт глины осуществляется в основном двумя способами: наземным рельсовым транспортом в опрокидных вагонетках емкостью 1 и 2,5 $м^3$ с мотовозной или электровозной тягой и автосамосвалами. Надежным является рельсовый транспорт с электровозной тягой. Эксплуатация мотовозов, особенно в зимнее время, вызывает много производственных неудобств и хозяйственных трудностей. Поэтому некоторые заводы своими силами переоборудуют мотовозы на электровозы. Недостатками рельсового транспорта являются большие трудозатраты на ремонт и обслуживание вагонеток, а также невозможность его использования на пересеченной местности и в городской черте.

Автотранспорт обладает большой маневренностью и требует сравнительно небольших трудозатрат. Ремонт автомашин может быть централизованным на авторемонтных заводах. В силу этих преимуществ автотранспорт на глиняных карьерах в период 1946—1960 гг. интенсивно вытеснял рельсовый. Однако все потенциальные выгоды технологического автотранспорта реализуются лишь в том случае, когда он организационно подчинен заводу. Централизация технологического автотранспорта и вывод его из подчинения заводов создали очень много организационных и хозяйственных неудобств и удорожили стоимость транспортных услуг.

Средняя себестоимость транспорта 1 $м^3$ глины на расстояние до 300 *м* узкоколейным рельсовым транспортом составляет 28 коп., а автосамосвалами 38 коп. При дальних расстояниях транспортирования более выгодным оказывается транспорт автосамосвалами: себестоимость его на расстояние 3 *км* составляет 53 *коп*/$м^3$, в то время как для узкоколейного рельсового транспорта эта величина возрастает до 67 коп. Эти данные справед-

ливы для случая, когда технологический автотранспорт находится в непосредственном ведении заводов. Пользование услугами централизованных автохозяйств обходится значительно дороже.

§ 5. СКЛАДИРОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЗАПАСА ГЛИНЫ

При толщине пласта глины менее 2,5 *м* зимняя добыча ее становится экономически невыгодной, так как сильно возрастают необходимые площади утепления и быстро перемещается фронт добычи, что в совокупности ведет к резкому повышению стоимости глины. В этом случае экономически более выгодным становится годовой расход глины обеспечивать добычей только в летний период и вблизи производственных помещений складировать запас глины, необходимой для работы в зимний период. Этот запас приходится создавать и в том случае, когда расстояние транспортирования превышает 1 *км* и добытая в утепленном карьере зимой талая глина промерзает в пути.

Но даже если эти два фактора, определяющие безусловную необходимость создания зимнего запаса глины, отсутствуют, то и тогда создание такого запаса все равно оказывается выгодным. Многолетней практикой установлено, что при наличии промежуточного запаса глины заводы работают более ритмично и с повышенной производительностью, причем в зимний период производительность заводов даже выше, чем в летний, когда глина поступает непосредственно из карьера. Это объясняется тем, что запас глины, как правило, хранится в непосредственной близости от производственных помещений и исключаются какие-либо перебои в поступлении глины на переработку вследствие транспортных неполадок.

Второе общее преимущество промежуточного складирования глины заключается в том, что при нескольких ее перевалках усредняется вещественный состав глины и происходит перераспределение в ней влаги, улучшающее ее формовочные и сушильные свойства. В связи с этим при использовании глины из запаса продукция получается более стабильного и более высокого качества, нежели при использовании глины, добытой в карьере и сразу направляемой в производство.

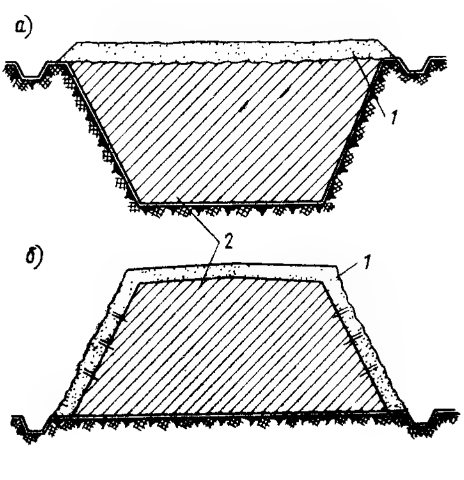
Практикуют несколько способов складирования промежуточного запаса глины.

1. Открытые котлованы и наземные штабеля

При этом способе вблизи формовочного цеха устраивается котлован шириной 30—40 *м*, глубиной, равной длине стрелы многоковшового экскаватора, и длиной по расчету

(рис. 21, *а*). В летний период его заполняют глиной, осенью утепляют опилками, а зимой глину добывают многоковшовым экскаватором нижним черпанием, так же как в зимних карьерах с мягким утеплением.

При хранении глины в наземном штабеле (рис. 21, *б*) вокруг его площадки устраивают водоотводные канавы с надежным стоком воды. Размеры наземного штабеля выбирают такими же, как и размеры котлована. Глину в него завозят автосамосвалами, откосы по возможности делают крутыми и для лучшего стока воды уплотняют; с этой же целью верхнюю поверхность штабеля делают слегка двухскатной. Несоблюдение этого и особенно образование поверхности в виде «люльки» ведет к большему увлажнению глины, что сильно осложняет ее переработку и формование изделий. Верх и боковые поверхности штабеля утепляют опилками. Глину добывают многоковшовым экскаватором верхнего черпания.



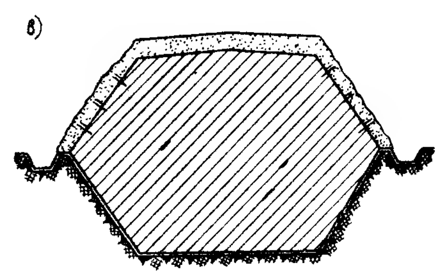


Рис. 21. Открытые склады глины

а — котлованный штабель; *б* — наземный штабель; *в* — двухъярусный штабель: *1* — опилки; *2* — глина

Сравнительные преимущества и недостатки котлованных и наземных открытых штабелей таковы: в котлован можно завозить глину как рельсовым транспортом, так и автосамосвалами, в наземный штабель — только автосамосвалами. При котлованном штабеле расход опилок на 1000 $м^3$ глины — 63 $м^3$, при наземном штабеле — 84 $м^3$. Котлованы заливаются водой и заносятся снегом, что обусловливает повышенную влажность глины, затрудняет их эксплуатацию и работу глиноперерабатывающего и формовочного оборудования. При котлованном штабеле основа для экскаваторных путей рыхлая, под экскаваторными путями слой опилок уплотняется и глина промерзает. Глубина котлована часто ограничивается близостью грунтовых вод к поверхности земли.

Иногда комбинируют котлованный и наземный штабель (рис. 21, *в*). В этом случае глину наземной части штабеля добы-

вают верхним черпанием, а в нижней части (во второй половине сезона) — нижним черпанием.

Размеры поперечного сечения котлованного и наземного штабелей рассчитывают по формулам:

$$H = l \sin \alpha; \qquad (41)$$

$$b = \frac{Q}{aH} - H \operatorname{ctg} \alpha; \qquad (42)$$

$$B = \frac{Q}{aH} + H \operatorname{ctg} \alpha, \qquad (43)$$

где H — глубина котлована или высота штабеля в *м*; l — длина ковшовой рамы экскаватора в *м*; α — угол разрабатываемого откоса уступа в *град*; b — ширина штабеля поверху или котлована понизу в *м*; B — ширина штабеля понизу или котлована поверху в *м*; Q — суточная потребность производства в глине в $м^3$; a — ширина фронта вынимаемой глины экскаватором без передвижки путей в *м*.

Трудности эксплуатации открытых карьеров в зимнее время присущи и открытым складам глины. Поэтому в районах с суровой зимой их делают закрытыми, применяя для этой цели иногда временные покрытия, аналогичные временным покрытиям закрытых карьеров.

2. Капитальные склады (глинохранилища)

По эксплуатационным затратам наиболее выгодным способом хранения промежуточного запаса глины являются капитальные склады — глинохранилища. Их типы различаются в зависимости от механизмов, применяемых для разгрузки и выгрузки глины. Загружать глину можно мостовым грейферным краном, грейфером на монорельсе и ленточным транспортером, выгружать — мостовым грейферным краном и одноковшовым экскаватором. Некоторые типы глинохранилищ показаны на рис. 22. Часто глинохранилище имеет треугольное сечение. Глину подают от места разгрузки карьерного транспорта и распределяют по площади склада грейфером, перемещающимся на монорельсе. Иногда в глинохранилищах аналогичного сечения над его коньком монтируют ленточный конвейер, который выполняет те же функции. Выгружают глину одноковшовым экскаватором, который подает ее в автосамосвал. Иногда в подобных глинохранилищах экскаватор загружает глину в передвижной ящичный подаватель, который перемещает ее на ленточный конвейер, монтируемый на полу склада или в подземной траншее. Эти глинохранилища пригодны для хранения глины одного сорта.

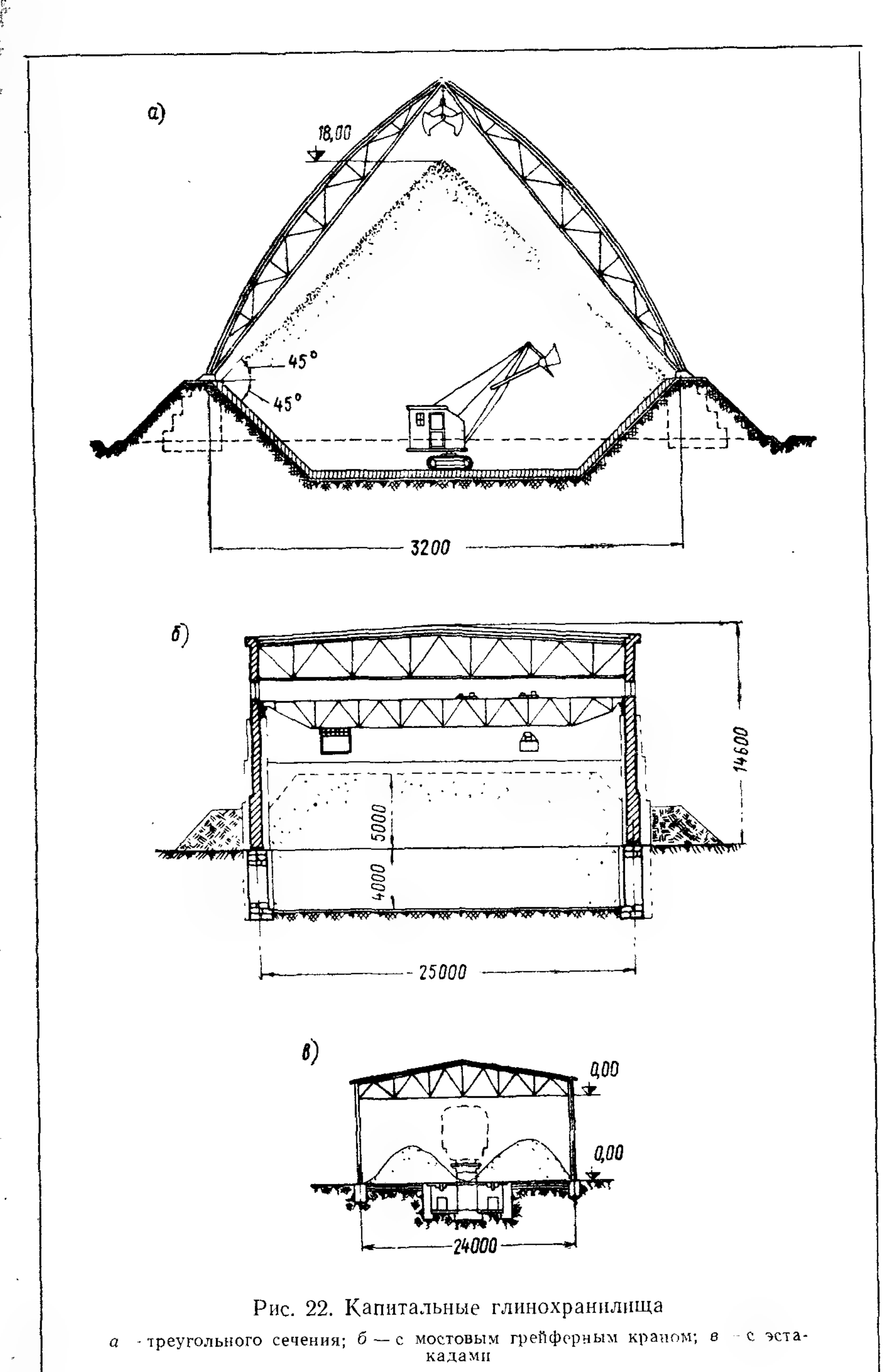


Рис. 22. Капитальные глинохранилища

а — треугольного сечения; *б* — с мостовым грейферным краном; *в* — с эстакадами

Таблица 5

Показатели различных способов складирования глины (на 1 $м^3$)

Способы складирования	Трудозатраты в чел.-днях	Полная стоимость, включая добычу и транспорт, в руб.
Открытые штабель и котлован	0,18—0,25	3—4
Котлован под подвижным перекрытием	0,27	2
Капитальные глинохранилища	0,1	1—1,5

Таблица 6

Оптимальные условия применения различных способов разработки карьера

Способы снабжения глиной зимой	$t_{расч}$ в °C	$H_{гл}$ в *м*
Мягкое утепление карьера	≥ —18	≥2,5
Открытые котлованные и наземные штабеля	≥ —18	≤2,5
Закрытая добыча с жестким утеплением	≤ —18	≥4—5
Металлическое покрытие	≤ —18	≥12

Для хранения с одновременной подачей в производство глины нескольких разновидностей удобно глинохранилище с мостовым грейферным краном (рис. 22, *б*), который может в любой момент загружать глину в любую часть склада и разгружать его.

Для хранения глин, прибывающих по железной дороге, строят склады с эстакадами, по которым вагоны въезжают в склад и там разгружаются (рис. 22, *в*).

Технико-экономические показатели некоторых способов складирования глины приведены в табл. 5.

Многолетняя практика определила следующие оптимальные условия применения различных зимних способов добычи и хранения глины в зависимости от расчетной зимней температуры $t_{р.сч}$ и мощности глиняного пласта $H_{гл}$ (табл. 6).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПОДГОТОВКА ПЛАСТИЧНЫХ ГЛИНЯНЫХ МАСС

Пластичные глиняные массы с различными добавками и без них подготавливаются для формования из них изделий и заготовок (валюшек).

Прямыми задачами подготовки пластичной глиняной массы является выделение из глины каменистых включений, достижение однородности массы по ее вещественному составу, влажности и структуре, а также придание массе надлежащих формовочных свойств. Косвенно обработка глиняной массы влияет также на ее сушильные свойства и на формирование структуры керамического черепка при ее обжиге.

Различают три группы методов обработки керамических масс: естественная, механическая и физико-химическая.

§ 1. ЕСТЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ГЛИНЫ

Естественными методами обработки называют такие, которые используют погодно-климатические факторы и фактор времени для изменения свойств глиняной массы. В соответствии с этим к методам естественной обработки относятся вымораживание и вылеживание глины в замоченном состоянии, а также вылеживание сформованных заготовок (валюшек).

1. Вымораживание глины

Этот метод обладает сильнейшей технологической эффективностью: никакие методы механической обработки практически не воспроизводят того технологического эффекта, который достигается вымораживанием. Сущность его заключается в том, что разрыхленную глину замачивают и в замоченном состоянии подвергают примерно годичному вылеживанию на открытом воздухе. Под влиянием многократных циклов замораживания и оттаивания вода, замерзая в мельчайших капиллярах глиняных частиц и увеличиваясь при этом в объеме на 9%, разрушает связи между ними, диспергируя частицы глины на элементарные зерна. Вследствие этого возрастает удельная поверхность глины, более полно завершаются процессы набухания, возрастает количество связанной воды, обусловливающей более высокую прочность (сцепление) глиняного теста, и в конечном счете улучшаются его формовочные и сушильные свойства.

На заводах с небольшим годовым расходом глины (кирпичные заводы малой мощности, черепичные заводы) ее укладывают для вымораживания в гряды высотой, не превышающей глубину промерзания грунта в данной местности, и при недостаточно дождливой осени заливают водой.

Для заводов большой мощности такой способ неприемлем, так как он потребовал бы неимоверно больших площадей и значительного увеличения транспортных расходов. Для таких заводов оправдал себя способ внутрикотловых взрывов [16]. Для этого на участке, освобожденном от вскрышного слоя, бурят скважины диаметром 10 *см*, глубиной 0,85 мощности полезной толщи пласта, с расстоянием между скважинами, равным их глубине. Взрывание производят аммонитом № 6. Мощность взрывного заряда рассчитывается таким образом, чтобы глина подвергалась рыхлению без выброса. В разрыхленном состоянии глину оставляют на вылеживание и промораживание в течение года. Для ведения взрывных работ должен составляться проект на основе «Технических правил ведения взрывных работ на дневной поверхности» и в строгом соответствии с «Едиными правилами

безопасности при ведении взрывных работ». Проект подлежит согласованию с Горно-технической инспекцией. На 10 $м^3$ разрыхленной глины расходуется 3 *кг* аммонита, 1 электродетонатор, 2,5 *м* электропровода и 3 *м* огневого шнура.

2. Зумпфование

Под зумпфованием понимают вылеживание глины в замоченном состоянии. В отличие от вымораживания при этом не происходит столь глубокого диспергирования глинистых частиц, но процессы набухания глины, переход некоторой части воды из свободных форм в связанные, переориентация зерен глинообразующих минералов и дипольных молекул воды с увеличением общей прочности глиняной массы протекают довольно полно. В результате этого процесса также весьма заметно улучшаются формовочные и сушильные свойства глины и как следствие снижается брак не только при формовании и сушке изделий, но и при их обжиге.

Вылеживанию можно подвергать как добытую в карьере глину, так и глину (или керамическую массу), прошедшую предварительно механическую обработку.

Вылеживание глины в летнее время может быть организовано в карьере и совмещено с процессом ее добычи. Для этого весь фронт забоя делят на 5—6 частей («заходок») по длительности вылеживания в сутках. Добытую глину на данной заходке оставляют на месте и заливают в конце дня водой, а глину в производство подают из другой заходки, в которой глина пролежала в замоченном состоянии требуемое количество суток. Вылеживание замоченной карьерной глины повышает производительность глиноперерабатывающего оборудования и пресса на 20% и примерно на столько же снижает расход электроэнергии [17].

Вылеживание замоченной глины с одновременным ее прогревом заметно интенсифицирует процесс набухания.

При вылеживании предварительно обработанной глины помимо ее набухания происходит также релаксация напряжений в глине, возникших при ее механической обработке, благодаря чему вылеживание такой глины получает в последние годы преимущественное распространение.

Для вылеживания глины применяют механизированные хранилища, оборудованные многоковшовыми экскаваторами, перемещающимися по рельсовым путям или на мостовых фермах, а также запасники башенного типа.

§ 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛИНЫ

Механическими методами обработки называются такие, при которых изменение свойств керамической массы достигается за счет механического воздействия рабочих органов

глинообрабатывающих машин. Механическую обработку глины производят для выделения из нее каменистых включений, разрушения текстуры*, гомогенизации массы и придания ей пластических свойств.

1. Выделение каменистых включений

Для выделения из глины каменистых включений существуют специализированные машины: дезинтеграторные ребристые вальцы СМ-150А, винтовые камневыделительные вальцы СМ-416А и глиноочистители СМ-472.

Дезинтеграторные вальцы как глиноочистительная машина малоэффективны. Практически они выделяют камни величиной лишь более 10 *мм*, а камни меньших размеров в большинстве проходят через зазор между вальцами. Ребра вальцов подвержены быстрому износу и поэтому необходим тщательный надзор за их состоянием, а также своевременная смена ребер. По указанным причинам дезинтеграторные вальцы применяются преимущественно в качестве машины для грубого дробления глины, а не для выделения из нее камней.

В связи с низкой эффективностью дезинтеграторных вальцов были созданы винтовые камневыделительные вальцы СМ-416А. Исследования эффективности выделения камней этой машиной выявили, что винтовые вальцы выделяют вообще незначительное количество камней — 15% общего их содержания в глине, а камни величиной 3—10 *мм* выделяются только в количестве 4 %.

Гарантированное выделение камней из глины обеспечивается лишь гидравлическим ее обогащением, когда глина распускается в воде до консистенции молока и пропускается через решетку, задерживающую камни. Этим способом с последующим обезвоживанием шликера в отстойниках сезонного действия в течение 20 лет обогащали глину, содержащую до 35% каменистых включений, на Нижне-Березовском кирпичном заводе (г. Улан-Удэ).

Использование гидравлического обогащения в керамической промышленности сдерживалось до настоящего времени отсутствием высокопроизводительных установок для обезвоживания шликеров. С появлением мощных распылительных сушилок (см. ниже, глава V, §3) этот способ выделения камней из глины приобретает вновь промышленное значение [18].

2. Грубое дробление глины

Грубое дробление необходимо для первичного измельчения относительно крупных кусков глины, поступающих из карьера, с тем чтобы облегчить работу последующих глиноперерабатывающих машин и обеспечить надлежащую технологическую эффективность их работы.

* Под текстурой понимается природная структура глины.

Первой стадией грубого дробления является рыхление кусков глины специальной машиной — глинорыхлителем СМ-1031. Рыхлитель представляет собой самоходную тележку, совершающую возвратно-поступательное движение над ящичным подавателем. Рабочим органом машины является вращающийся вал с 14-ю насаженными на него фрезами. Привод и мотор смонтированы на тележке. Фрезы размещаются в прорезях решетки, перекрывающей ящичный подаватель. Машина может рыхлить породы твердостью ниже IV категории [19]. Производительность рыхлителя 30 *м*³/*ч*, мощность электродвигателя 20 *квт*.

Второй стадией грубого дробления является измельчение глины до кусков величиной 10—15 *мм*. Сухие хрупкие, а также мерзлые глины, не засоренные каменистыми включениями, дробят на стругачах и валково-зубчатых дробилках, являющихся машинами режущего типа. Их в большинстве случаев применяют для дробления огнеупорных и тугоплавких глин. Вязкие пластичные глины дробят на гладких дифференциальных вальцах грубого помола СМ-369А и СМ-416А, производительностью соответственно 32 и 40 *м*³/*ч*. Дробление в них происходит за счет раздавливания и разрыва глиняной лепешки. Глины, засоренные каменистыми включениями, наиболее устойчиво дробят дезинтеграторные вальцы СМ-150.

3. Тонкое измельчение глины

Тонкое измельчение пастообразной глины сводится к ее перетиранию. Целью этого процесса является разрушение водопрочных оболочек, цементирующих отдельные зерна глинообразующих минералов, частичное разрушение самих зерен и освобождение в конечном счете молекулярных связей, за счет которых глина будет гидратироваться, присоединяя к себе большее количество связанной воды. Последнее обусловливает повышенное сцепление глиняной массы при одновременном сокращении ее подвижности.

Разрушение водопрочных оболочек, окружающих зерна глинистых минералов, оказывает существенное влияние на улучшение сушильных свойств глины. При полном отделении от глинистого минерала водопрочной оболочки освободившиеся молекулярные силы его поверхности обусловят создание гидратной пленки. Последняя, уменьшая свою толщину во время сушки и снижая экранирование молекулярных сил, будет способствовать возникновению при сушке прочных связей между отдельными глинистыми зернами, что повышает трещиностойкость изделий в сушке. Наличие водопрочных неразрушенных оболочек мешает развитию этих связей и понижает трещиностойкость изделий в сушке [20]. У глин с водонеустойчивыми и малоустойчивыми агрегатами разрушение их связей достигается за счет расклинивающего действия воды, а агрегаты глин с водопрочными оболочками необходимо разрушать интенсивным механическим растиранием для улучшения их формовочных и сушильных свойств.

Для тонкого измельчения применяют гладкие дифференциальные вальцы, дырчатые вальцы, бегуны и глинорастирочные машины.

Гладкие дифференциальные вальцы СМ-24 и СМ-696А получили наиболее широкое распространение. Технологическая эффективность обработки глины гладкими вальцами зависит от зазора между валками, соотношения чисел оборотов валков и влажности обрабатываемой глины. При зазоре свыше 9 *мм* обработка на вальцах неощутима [21]. Лабораторные исследования влияния величин зазора вальцов на предел прочности при сжатии обожженных из обработанной глины образцов дали следующие результаты:

зазор между вальцами в *мм*	$R_{сж}$ в *кГ/см*²
3	100
2	150
1	270
0,5	350

Эти данные указывают на необходимость минимального зазора, обеспечивающего нужную производительность машины. Практически зазор не должен превышать 2—3 *мм*.

Числа оборотов валков должны подбираться так, чтобы соотношение их окружных скоростей обеспечивало максимально возможную деформацию сдвига S в пределах $S = 5 \div 10$ *см*. Эти расчеты можно производить по следующим формулам [22]:

$$S = \Delta\omega\tau_м; \qquad (11)$$

$$\Delta\omega = \omega_S - \omega_т; \qquad (12)$$

$$\tau = \frac{\pi D \alpha}{360\omega_т}, \qquad (13)$$

где S — максимально возможная деформация сдвига в *м*;
$\Delta\omega$ — относительная скорость быстроходного валка в *м/сек*;
ω_S, $\omega_т$ — окружные скорости соответственно быстроходного и тихоходного валка в *м/сек*; τ — время нахождения глины в вальцах в *сек*; D — диаметр валка в *м*; α — угол охвата глины валками; обычно $\alpha = 24°20'$.

При выборе S нужно исходить из условия, что S должно возрастать с увеличением пластической прочности глиняной массы.

С увеличением влажности глины, поступающей на переработку в вальцы, степень ее измельчения возрастает и соответственно возрастает прочность высушенных образцов, изготовленных из обработанной глины (рис. 23) [20]. В связи с этим наиболее целесообразно подавать на переработку глину с влажностью, близкой к ее нормальной формовочной влажности.

Дырчатые вальцы СМ-369А отличаются от вальцов тонкого помола отсутствием зазора между валками и наличием отверстий

в обечайках валков. Исследования технологической эффективности обработки глиняной массы на дырчатых вальцах показали, что прочность высушенных образцов, сформованных из этой массы, возрастает примерно в 1,5 раза. Степень размягчения массы, достигаемая при обработке глины на дырчатых вальцах, практически незначительна.

Бегуны мокрого помола являются в технологическом отношении наиболее эффективной машиной для тонкого измельчения

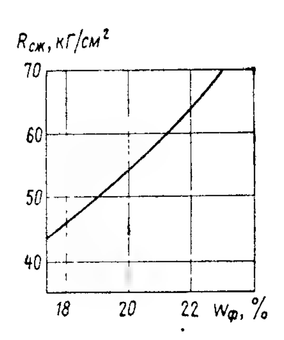


Рис. 23. Зависимость прочности сухих образцов изделий от влажности формовочной массы, обработанной на вальцах тонкого помола

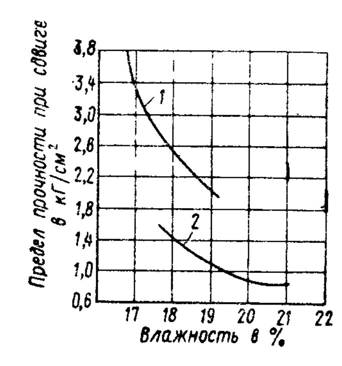


Рис. 24. Изменение пластической прочности глины, обработанной дырчатыми вальцами (*1*) и бегунами (*2*)

пастообразных глиняных масс: в процессе обработки одни и те же кусочки глины подвергаются многократному раздавливающему и истирающему воздействию тяжелых катков, что и обеспечивает тонкое измельчение глины. Исследования технологической эффективности обработки глины на бегунах показали, что пластическая прочность массы (ее подвижность) после бегунной обработки при $w < w_ф$ возрастает, т. е. масса уплотняется, а при $w \geqslant w_ф$ пластическая прочность понижается — масса становится более подвижной. Это говорит о том, что на бегунах, как и на вальцах, целесообразно обрабатывать глину с влажностью, близкой к формовочной. Прочность сырца, изготовленного из глины, обработанной на бегунах, возрастает в два с лишним раза.

Изменение гомогенности, т. е. однородности, массы контролируется по стабильности прочностных показателей сырца, которая оценивается по коэффициенту вариации KB_R. Исследования показали, что при $w < w_ф$ величина KB_R практически не меняется, а при $w \geqslant w_ф$ снижается в два с лишним раза. Это указывает на резкое повышение гомогенности массы, подвергнутой обработке при $w \geqslant w_ф$.

Для обеспечения высокопроизводительной работы бегунов необходимо соблюдать следующие условия:

$$\frac{D_{к.б}}{D_к} \geqslant 7, \quad n \leqslant \frac{20}{R},$$

где $D_{к.б}$ — диаметр катка; $D_к$ — диаметр куска глины; R — радиус круга катания, равный радиусу средней точки катка по его ширине.

Производительность бегунов резко понижается с уменьшением влажности обрабатываемой глины.

Изменение предела прочности при сдвиге, характеризующее степень размягчения глины в результате ее механической обработки, приведено на рис. 24. Эти данные показывают, что бегуны обеспечивают большее размягчение глины, чем дырчатые вальцы. Отмечается также повышение прочностных показателей и степени однородности массы.

Из числа бегунов отечественных марок наиболее мощными являются бегуны СМ-365 производительностью 35 $м^3/ч$.

Глинорастиратель представляет собой вертикальный решетчатый цилиндр, внутри которого вращаются на вертикальном валу три лопатки, растирающие глину и продавливающие ее через отверстия решетки. Жгутики проработанной глины собираются на вращающейся чаше, расположенной под решетчатым цилиндром, с которой ее убирают скребком. Глинорастиратели обеспечивают хорошую проработку глины.

4. Приготовление глиняного теста

В результате тонкого измельчения глиняной массы она выходит из помольных машин в виде отдельных несвязанных между собой кусочков: лепешек, жгутов и т. п. До подачи на формование в пресс из них нужно образовать сплошную массу глиняного теста, с приданием ей влажности, при которой должны формоваться изделия. Для этого надо измельченную глину промять, что производят в глиномялках и тоншнейдерах. При этом изменяется свойство глиняного теста — его подвижность, прочность, однородность. Подвижность глиняной массы после обработки в глиномялке увеличивается (рис. 25) [21], прочность образцов, изготовленных из промятой глины, возрастает в 1,5—2 раза.

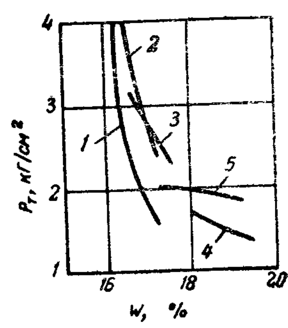


Рис. 25. Изменение предельного напряжения сдвига в процессе обработки глиняных масс

1 — ящичный подаватель и винтовые вальцы; *2* — бегуны СМ-365; *3* — вальцы тонкого помола; *4* — мешалка пресса; *5* — комбинированный ленточный вакуум-пресс

В производстве изделий грубой керамики мятье глины осуществляют в открытых глиномялках СМ-447А с водяным орошением и глиномялках СМ-246 с паровым увлажнением. Более глубокая переработка глиняной массы достигается в полузакрытых глиномялках, у которых выходной конец сделан в виде закрытого конического корпуса со шнеком. Аналогичные машины в производстве аглопорита получили название шихтосмесителей [23].

Еще лучшую переработку глины обеспечивают тоншнейдеры, применяемые для обработки пластичных тонкокерамических масс.

При подборе оборудования технологической линии для механической обработки глины рекомендуется руководствоваться следующими соотношениями [24]:

$$К = 0{,}4\ П \leqslant И_1 + И_2 + И_3 + \ldots + И_n, \qquad (14)$$

где $К$ — интенсивность обработки технологической линии: $П$ — число пластичности обрабатываемой глиняной массы; $И_1$, $И_2$, $И_3$, $И_n$ — интенсивность обработки глиняной массы в условных единицах; для гладких вальцов $И=1$, для глиномялки $И=1{,}5$, для глинорастирателя $И=3$, для бегунов $И=2{,}5$, для ленточного пресса $И=3$.

Эти соотношения хотя и являются ориентировочными, однако указывают на то, что нельзя во всех случаях применять типовой набор оборудования для обработки глины вне зависимости от ее природных свойств.

§ 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛИНЯНОЙ МАССЫ

Методы, при которых искусственно меняются соотношения между отдельными фазами глиняной массы, и условия их взаимодействия относятся к физико-химическим методам ее обработки. Условия взаимодействия между отдельными фазами глиняной массы могут изменяться или за счет изменения физических параметров самой массы — температуры и давления, или за счет ввода химических реагентов. Важнейшими методами являются увлажнение, подогрев, вакуумирование и ввод химических добавок.

1. Увлажнение

Увлажнять массу можно водой или паром; увлажнение может быть однократным и ступенчатым.

Однократное увлажнение глиняной массы при ее механической обработке достигается подачей в глиномялку распыленной воды. Длительность пребывания глины в глиномялке составляет всего несколько минут, между тем как длительность набухания отдельных глин составляет от 0,5 до 4 *ч* [20], а для некоторых глин и больше. Поэтому однократное увлажнение в глиномялке сводится по существу лишь к поверхностному орошению отдельных кусочков глины, а не к полному усвоению глиной введенной воды. Таким образом, влажностная неоднородность глиняной массы при однократном ее увлажнении в глиномялке возрастает, что и было подтверждено сравнением коэффициентов вариации по влажности $КВ_w$ до увлажнения глины в глиномялке и после [21].

Двукратное улажнение, при котором глина увлажняется первый раз до поступления в перерабатывающие машины, а второй раз — перед формованием, удлиняет период взаимодействия глины с водой. Кроме того, переработка предварительно увлажненной глины непрерывно обнажает новые поверхности глинистых частиц для взаимодействия с водой и тем самым интенсифицирует этот процесс.

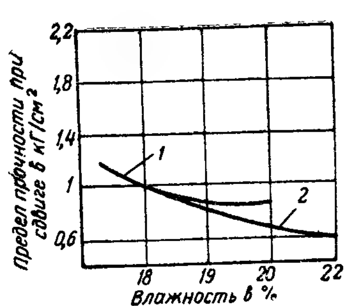


Рис. 26. Изменение степени размягчения глины при однократном (*1*) и двукратном (*2*) увлажнении

При двукратном увлажнении повышается влажностная однородность глиняной массы ($КВ_w$ понижается) и улучшаются ее пластические и прочностные свойства (рис. 26). Кривые рис. 26 характеризуют изменение пластической прочности глины после ее последовательной обработки в ящичном подавателе, винтовых и дырчатых вальцах при отсутствии (кривая *1*) и наличии (кривая *2*) первой ступени увлажнения в ящичном подавателе. Первичное увлажнение осуществляют иногда в ящичном подавателе, оборудуя его для этого специальными паропроводами. Однако лучшим решением является установка для этой цели после ящичного подавателя специальной глиномялки (так называемой «входной глиномялки»).

Паровое увлажнение массы по сравнению с водяным существенно улучшает ее технологические свойства. Водяной пар не только конденсируется на поверхности куска глины, но проникает в его мельчайшие поры и, конденсируясь в них, вовлекает большие поверхности в процесс взаимодействия глины с водой. Экспериментально установлено, что капиллярная конденсация пара частично вытесняет из глины воздух. Повышение температуры глиняной массы при ее паровом увлажнении интенсифицирует процессы взаимодействия глины с влагой. В результате перечисленных факторов при паровом увлажнении глины возрастает пластичность, липкость и прочность глиняной массы [25].

Для увлажнения глины используют пар низкого давления — 0,5—0,7 *атм*. Теоретически наиболее выгодно подавать для увлаж-

нения сухой насыщенный пар. Однако транспорт такого пара от котельной к глиномялке неминуемо сопровождается его частичной конденсацией в паропроводах, что понижает его греющую способность при увлажнении глины (1 *кг* пара выделяет при конденсации 600 *ккал* тепла, а 1 *кг* горячей воды при охлаждении выделяет примерно 50—60 *ккал*). Поэтому практически для увлажнения глины необходимо использовать пар, перегретый на 20—30°. По практическим данным паровое увлажнение глины

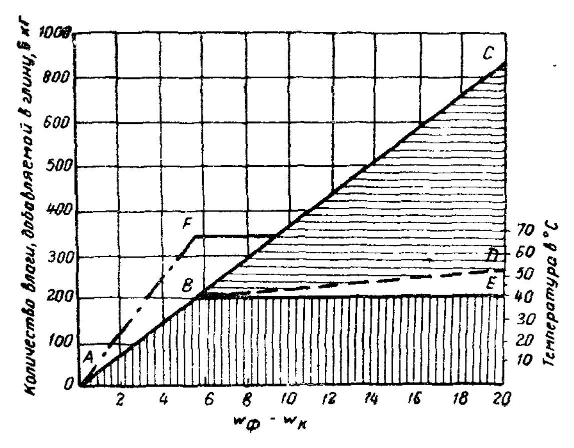


Рис. 27. График для определения расхода пара и воды на прогрев и увлажнение глины (на 1000 шт. кирпича)

ABE — расход пара в глиномялке; *BC* — расход воды в глиномялке; *BD* — дополнительный расход пара на подогрев вод; *AF* — температура бруса; $w_ф$ — формовочная влажность массы; $w_к$ — карьерная влажность глины

увеличивает производительность ленточных прессов и снижает потребляемую ими мощность на 15—20%.

Количество влаги, которое можно добавить в глину, зависит от разности ее формовочной и карьерной влажности. Если эта разность велика, то количество необходимой влаги оказывается настолько большим, что ее невозможно полностью ввести в глину в виде пара, так как с увеличением количества вводимого пара возрастает температура нагрева глины, а при температуре глины выше 70° С пар практически перестает на ней конденсироваться. В этих случаях приходится применять комбинированное увлажнение — паром и подогретой водой.

Расход воды и пара на подогрев и увлажнение глины можно рассчитать по графику рис. 27.

2. Подогрев

При равенстве карьерной и формовочной влажности глины исключается возможность ее дополнительного увлажнения, в том числе паром. В этом случае для подогрева глины, который является действенным средством улучшения ее формовочных и сушильных свойств, за рубежом применяют установки «Бедекалор» (рис. 28). Они представляют собой трубчатый огневой калорифер, через который шнековым питателем продавливается пластичная глиняная масса, затем поступающая в пресс.

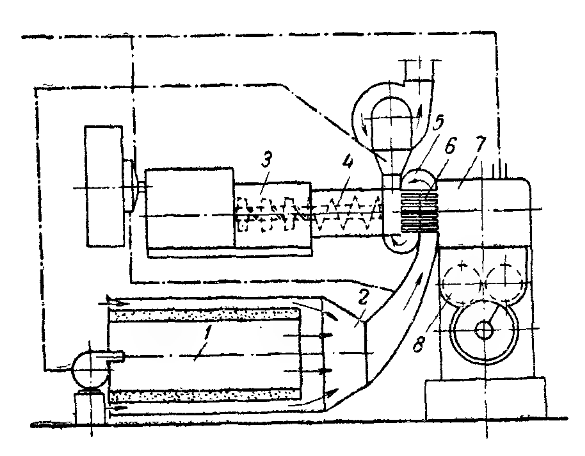


Рис. 28. Схема установки «Бедекалор» для подогрева глины топочными газами

1 — топка; *2* — газоход; *3* — глиномялка; *4* — шнековый питатель; *5* — теплообменник; *6* — эллипсообразные трубы; *7* — вакуум-камера пресса; *8* — ленточный пресс

Когда карьерная влажность глины существенно выше формовочной, ее подогревают с одновременной подсушкой в сушильных барабанах. Этот прием успешно практикуют ленинградские кирпичные заводы [26].

3. Вакуумирование

Пластичное глиняное тесто является трехфазной системой, состоящей из твердой минеральной фазы, воды и воздуха, содержание которого достигает 10%. Различают три формы воздуха в глине: адсорбированный на поверхности глинистых частиц, механически захваченный при увлажнении и растворенный в воде [27].

Адсорбция воздуха зависит от его относительной влажности и прекращается при $\varphi = 80 \div 90\%$. С увеличением температуры воздуха адсорбция его понижается, что указывает на целесообразность подогрева глин для более глубокого вакуумирования. Максимальное количество воздуха адсорбируют монтмориллонитовые глины, минимальное — каолинитовые. Адсорбированный воздух наиболее трудноудаляем: из тонкодисперсных глин он удаляется лишь при глубоком вакууме — 700—745 *мм рт. ст.*

Механически связанный воздух находится в воде в виде макропузырьков, окруженных водной пленкой. Условия его эффективного удаления определяются формулой

$$\delta_{\text{кр}} = \frac{\Delta P r}{2R_{\text{р}}}, \qquad (15)$$

где $\delta_{\text{кр}}$ — критическая (максимальная) толщина глиняной пленки, которую может прорвать пузырек воздуха, в *см*; ΔP — перепад давлений в *кГ/см*^{2}; $R_{\text{р}}$ — предел прочности глиняной пленки при разрыве в *кГ/см*^{2}; r — внутренний радиус пузырька в *см*.

Эта формула показывает, что с понижением глубины вакуума степень измельчения глины должна возрастать. Глубину вакуума следует увеличивать для тонкодисперсных глин с малым значением r. Более прочные глины должны подвергаться большему измельчению. Кроме того, полнота удаления воздуха из глины зависит от длительности воздействия вакуума.

Растворимость воздуха в воде уменьшается с повышением ее температуры, поэтому подогрев глины способствует более полному удалению воздуха. Однако теоретически температура глины не должна превышать точки кипения воды при данном разряжении в вакуум-камере. Эти соотношения таковы:

ΔP вакуум в *мм рт. ст*	Температура кипения воды в °C
—	100
570	65
722	33

Практически температура глины может быть на 15—20% выше равновесной для данного разряжения.

Воздух в глине нарушает связь между отдельными зернами глинистых минералов и между отдельными молекулами воды, ухудшая прочностные и формовочные свойства глиняного теста. Удаление защемленного воздуха повышает связность глин в результате устранения поверхностного натяжения на границе макропузырек — вода.

Б. С. Швецов [28] уподоблял глины коллоидным пенам. В связи с этим уместно вспомнить, что при насыщении воздухом типичного коллоидного вещества — яичного белка — путем его взбивания он также превращается в пену, которая легко «рвется на куски», утрачивая текучесть, присущую невзбитому белку. Точно так же и глины, насыщенные воздухом, в значительной мере утрачивают связность и пластичность. Этим объясняется наблюдающееся иногда ухудшение пластических свойств недостаточно увлажненной глины при интенсивной механической обработке.

Наличие воздуха в глине замедляет процесс усвоения ею влаги, обусловливает неравномерное ее уплотнение во время формования, вызывает упругое последействие с образованием микротрещин в сформованном изделии и, наконец, воздух действует как отощитель, снижая формовочную способность глиняной массы. В связи с этим в последние 35 лет начали применять вакуумирование глиняной массы для улучшения ее формовочных и прочностных свойств. При этом прочность сформованных изделий повышается в 2—3 раза, примерно в 1,5 раза увеличивая прочность высушенного изделия, на 6—8% повышается его плотность, необходимая формовочная влажность понижается на 2—3% и увеличивается связующая способность (пескоемкость) глины; объемный вес обожженного изделия возрастает на 3—4%, водопоглощение снижается на 10—15%, а прочность увеличивается вдвое.

Вакуумирование глины улучшает ее пластические свойства, благодаря чему резко снижается брак при формовании. О влиянии вакуума на формовочные свойства весьма наглядно свидетельствует такой опыт: в камеру футбольного мяча насыпается немного хорошо высушенного песка и через фильтр из нее откачивается вакуум-насосом воздух. Затем, исключая обратное поступление в камеру воздуха, ее сосок плотно перевязывают. После этого из камеры можно «лепить» фигуры, как из пластичного теста.

Отрицательным моментом вакуумирования является понижение влагопроводности глины, что замедляет процесс свободной влагоотдачи. Однако это не ухудшает сушильных свойств изделия благодаря возрастанию его прочности и снижению воздушной усадки.

Тонкокерамические массы вакуумируют в специальных машинах — вакуум-мялках, а в производстве изделий грубой керамики вакуумирование глины совмещают с формованием из нее изделий в вакуум-прессах.

4. Ввод химических реагентов

Известна возможность разжижения и коагуляции глин при ее взаимодействии с электролитами. Однако для пластичных керамических масс этот прием оказался нежизненным вследствие практической невозможности равномерно распределить в пластической массе небольшие дозы электролитов (0,15—0,25%). Для снижения подвижности глин с высокой карьерной влажностью в них добавляют иногда негашеную известь. Исключительно благоприятное влияние оказывает ввод поверхностно-активных добавок. Так, добавка 0,2—0,4% лигносульфоната натрия снижает формовочную влажность, повышает производительность пресса, удваивает прочность сырца и на 60% увеличивает прочность кирпича [29].

Исследования Г. И. Книгиной [30] показали возможность резкого повышения прочности кирпича (примерно на 1 марку) из

новосибирских тощих суглинков за счет улучшения их формовочных и сушильных свойств при добавке с. с. б. (около 2 *кг* на 1000 шт. кирпича). Клинский комбинат (Московская область) также освоил добавку с. с. б., что повысило прочность кирпича.

Добавка в глину до 0,5% хлористого кальция [31] повышает ее влагопроводные свойства, добавка хлористого натрия оказывает обратное влияние. Хлористые соли натрия и кальция при сезонном формовании сырца вводятся в глину в качестве добавок, понижающих температуру замерзания сырца.

За рубежом применяют также добавку керосина для улучшения формовочных и сушильных свойств глины.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПОДГОТОВКА ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАСС

Керамическими порошками называют высококонцентрированные (маловлажные) дисперсные глинистые системы, не обладающие связностью. Отсутствие связности обусловливает наиболее характерное свойство порошков — их сыпучесть. Глиняные порошки в технологии керамики готовятся в двух случаях: для прессования из них изделий (методом прессования) и для последующего приготовления из них пластичного теста (сухая подготовка массы).

Глиняные порошки могут готовиться сухим, пластичным и шликерным способом.

Наиболее жесткие требования предъявляются к прессовочным порошкам, из которых прессуются изделия. Такие порошки должны иметь заданные зерновой (гранулометрический) состав и влажность, обладать однородной пофракционной влажностью и возможно большей плотностью. Важными являются также деформативные свойства порошков. Однако эти свойства еще недостаточно изучены и не имеют показателя, которым можно было бы воспользоваться для выбора режима прессования порошков соответственно их деформативным свойствам.

Степень дисперсности порошка удобней всего характеризовать величиной его удельной поверхности, которую определяют экспериментально.

Порошки для последующей переработки их в пластичное тесто готовятся с целью придания керамической массе большей однородности, обеспечения точной дозировки компонентов керамической массы, облегчения процесса их перемешивания и достижения более полного и быстрого набухания глины при ее замачивании. Более интенсивное взаимодействие с водой предварительно высушенной и размолотой глины объясняется тем, что в процессе сушки и помола в глинистых агрегатах образуются многочисленные дефекты, в которые влага легко проникает, диспергируя их и увеличивая поверхность взаимодействия глины с водой.

§ 1. ПОДГОТОВКА ГЛИНЯНЫХ ПОРОШКОВ СУХИМ СПОСОБОМ

При подготовке глиняных порошков сухим способом глина подвергается последовательно грубому дроблению, сушке, помолу, просеву и увлажнению.

1. Дробление глины

Глина, поступающая в производство из карьера или со склада, должна подвергаться грубому дроблению. Его производят в стругачах, зубчатых или дезинтеграторных вальцах. Стругачи работают устойчиво на глинах сравнительно невысокой влажности, не содержащих каменистых включений. Поэтому на керамических заводах они применяются обычно для дробления огнеупорных глин. Зубчатые вальцы используют для дробления маловязких («хрупких») глин, не содержащих каменистых включений. Вязкие глины «наматываются» на зубья валков, что приводит к сплошному их залипанию. Дезинтеграторные вальцы при надлежащем уходе можно применять для дробления глин вязких и содержащих каменистые включения. Поэтому преимущественно они эксплуатируются на кирпичных заводах.

2. Сушка глины

Для возможности последующего помола глины ее необходимо подсушить. Сушат глину в сушильных барабанах прямотоком, так как при противотоке возникает опасность сильного перегрева глины, частичной ее дегидратации и большой потери пластических свойств. Температура газов, поступающих в барабан t_1, обычно равна 600—800° С. Снижение ее обеспечивает более однородную пофракционную влажность, но уменьшает производительность барабана. Повышение t_1 сверх указанного предела нецелесообразно по технологическим соображениям: оно приводит к дегидратации мелкой фракции глины и обусловливает быстрый выход из строя входной секции барабана. Температура отходящих газов t_2 составляет 110—120° С. Резкое повышение t_2 свидетельствует о пересушке глины. Температура глины, выгружаемой из сушильного барабана, составляет 60—80° С. Конечная влажность высушенной глины w_2 зависит от величины ее кусков (рис. 29).

При прохождении глины через барабан изменяется ее гранулометрический состав. Мелкие фракции, быстро высыхая, истираются до пылевидного состояния, а крупные куски, распарива-

ясь, слипаются и окатываются в крупные комья. Это обусловливает большую влажностную неоднородность высушенной глины, затрудняющую работу помольных машин. Так, при средней влажности 8,5—12% влажность наиболее крупных кусков достигает 15,5—19%. В пределах одного куска также отмечается значительный перепад влажности. Некоторое повышение равномерности сушки достигается устройством в сушильных барабанах цепных завес, которые частично измельчают глину, создавая тем самым условия для более равномерной ее сушки. Но даже и при этом сушильные барабаны нельзя считать достаточно совершенным в технологическом отношении агрегатом. Тем не менее для сушки глины они повсеместно распространены вследствие большой надежности работы.

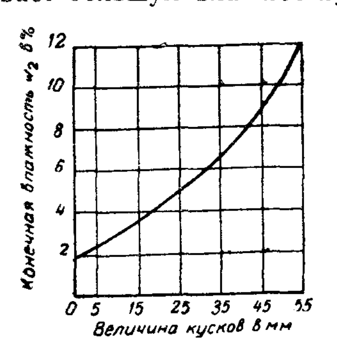


Рис. 29. Зависимость конечной влажности глины от величины кусков при сушке в ячейковом сушильном барабане

3. Помол глины

Высушенная глина подвергается помолу с целью получения порошка заданного гранулометрического состава. Для помола глины применяют корзинчатые дезинтеграторы, бегуны сухого помола, ротационные и центробежные мельницы.

Корзинчатые дезинтеграторы работают устойчиво при влажности глины не выше 10%. При более высокой влажности глина налипает на кожух и на пальцы дезинтеграторов. Некоторое улучшение работы дезинтеграторов достигается устройством резиновых кожухов. Однако указанный недостаток дезинтеграторов до конца они не устраняют. При наличии в глине каменистых включений пальцы корзин быстро изнашиваются, и их необходимо менять через 200—300 *ч* работы.

Тонина помола зависит от числа оборотов корзин дезинтегратора, расстояния между пальцами и влажности глины. Выход мелких фракций возрастает с увеличением числа оборотов корзин и уменьшением расстояния между пальцами. С повышением влажности глины возрастает количество крупных фракций. Так, например, при влажности 10% сумма крупных фракций (остаток на сите 25 *отв/см*²) составляет 96%, а при влажности 6% — всего лишь 66%.

Дезинтеграторы дают рыхлый порошок малого объемного веса, что затрудняет прессование из него изделий.

Бегуны сухого помола работают устойчиво при влажности глин не свыше 8—9%, при более высокой влажности происходит

образование коржей. Достоинством бегунов является получение порошка повышенной плотности, с малыми упругими деформациями, что улучшает его прессовочные свойства. Сравнительный анализ порошков, полученных помолом одних и тех же глин, показал, что при помоле на дезинтеграторе объемный вес порошка составил 973—1050, а на бегунах — 1056—1140 *кг/м*³. Недостатком бегунов является большое пылевыделение вследствие плохой герметичности.

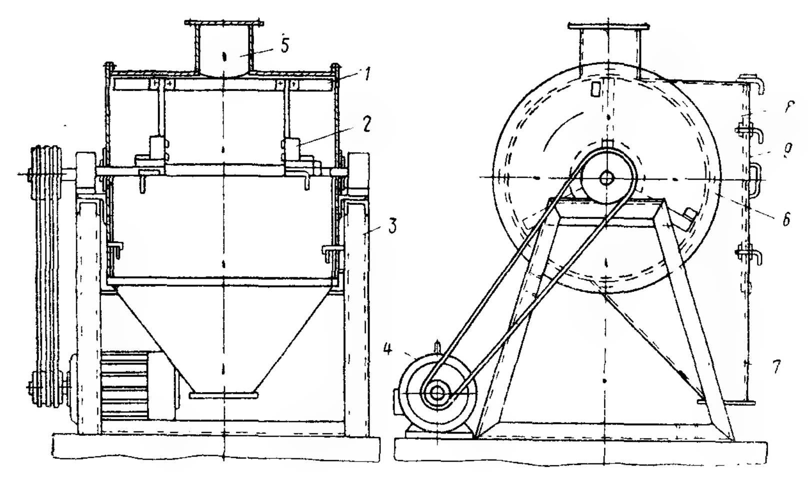


Рис. 30. Ротационная мельница

Ротационные мельницы получили распространение главным образом благодаря их компактности и относительно высокой производительности. Основными частями ротационной мельницы (рис. 30) являются неподвижный барабан *1*, вращающийся ротор с билами *2*, рама *3* и привод *4*. Барабан имеет вверху питающий патрубок *5*, а в боковой части — вырез по всей длине цилиндра, затянутый съемной сеткой *6*, через которую молотый порошок поступает в течку *7*. Отсеивающая часть герметизирована кожухом *8* с ремонтным люком *9*. Твердые включения в глине разрушают сетку.

Испытания этой мельницы показали, что ее производительность в большей степени, чем бегунов, зависит от изменения влажности материала (рис. 31).

Центробежная мельница создана в последние годы и успешно эксплуатируется

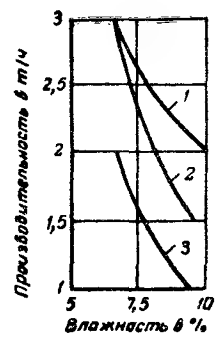


Рис. 31. Влияние влажности глины на производительность бегунов и ротационной мельницы

1 — бегуны СМ-21 А-СХ; *2* — ротационная мельница *n*=720 *об/мин*; *3* — то же, *n*=560 *об/мин*

на Харьковском плиточном заводе [32]. Она работает по принципу самоизмельчения. Основными рабочими органами машины (рис. 32) являются два ротора с чашами *1*, вращающиеся со скоростями 1000—2500 *об/мин*. Вращение роторам сообщается от двух независимых электродвигателей через клиноременные передачи и валы роторов *2*. Роторы и приводные устройства смонтированы на общей раме. Материал, подлежащий измельчению, поступает по течке *3* в помольную камеру, образованную двумя симметрично расположенными чашами роторов и промежуточным неподвижным кольцом *4*. Здесь материал подхватывается чашами, под действием центробежных сил отбрасывается и, в результате большого числа встречных соударений частиц, измельчается. Измельченная глина выходит из рабочей зоны мельницы через две кольцевые щели *5* между чашами и промежуточным кольцом. Тормозные ребра *6* препятствуют проскальзыванию материала, чем достигается максимальная скорость вылета его частиц. Футеровочные кольца своими выступающими поверхностями удерживают слой материала на внутренних поверхностях чаш, как бы образуя глиняную футеровку. При этом создается возможность относительного движения измельченного материала по глиняной «футеровке», в результате чего происходит измельчение истиранием. Зерновой состав молотого материала может регулироваться изменением ширины разгрузочных кольцевых щелей *5* путем осевого перемещения роторов с чашами *1* регулирующим устройством и увеличением числа оборотов роторов с чашами.

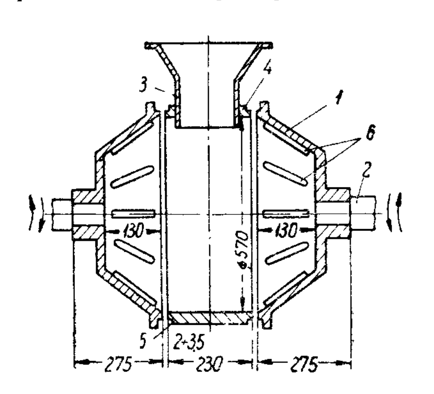


Рис. 32. Схема помольной камеры центробежной мельницы

Наибольший размер кусков материала, загружаемых в мельницу, — 150 *мм*, влажность материала 8—9%, производительность при ширине щелей 2—3,5 *мм* от 10 до 12 *т/ч*, удельный расход электроэнергии 0,5—2,5 *квт·ч/т*, вес машины 870 *кг*.

При выборе помольных машин для глины надлежит руководствоваться технологическими соображениями и технико-экономическими показателями. Если помол глины производится для последующего приготовления из порошка пластичного теста, то могут применяться дезинтеграторы, ротационные или центробежные мельницы как машины наиболее экономичные по металлоемкости и расходу энергии. При помоле глины повышенной влажности (10—12%) может работать только дезинтегратор. При

помоле прессовочных порошков невысокой влажности (менее 8%) предпочтение следует отдавать бегунам.

Технико-экономические показатели помольных машин приведены в табл. 7.

Таблица 7

Технико-экономические показатели помольных машин

Машина	Производительность в *т/ч*	Расход электроэнергии в *квт·ч/т*	Вес машины в *кг*	Стоимость машины в руб.	Годовая стоимость ремонтов в руб.	Возврат материала при просеве в %
Бегуны СМ-21А-СХ ($d_{отв}$ = 8 *мм*)	1,8	7,8	12 579	3340	3310	50—60
Ротационная мельница ($d_{отв}$ = 4 *мм*)	2,5	8	870	550	720	0,5
Центробежная мельница ($d_{щели}$ = 2 *мм*)	10—12	0,5—2,5	870	950	—	4—5
Дезинтеграторы ($d_{корз}$ = 2 *м*)	18 25	2	8000	—	—	—

Как видно, центробежные мельницы и дезинтеграторы являются наиболее производительными и экономичными.

4. Просеивание глины

Просеивание глины имеет целью отделение крупных зерен порошка или разделение молотой глины по размерам зерен для получения порошка заданного зернового состава. Для просеивания глины применяют струнные сита, барабанные грохоты (бураты), качающиеся и вибрационные сита.

Струнное сито представляет собой деревянную или металлическую раму, на которую на расстоянии 5—7 *мм* одна от другой натянуты проволочные струны. Сито имеет наклон в сторону движения материала. На струнных ситах можно отделять только очень крупные куски глины, так как расстояние между сильно натянутыми струнами значительно изменяется вследствие их изгиба.

Барабанный грохот (сито-бурат) применяется для просева сухих измельченных материалов. Размер отверстия сит от 0,5 до 1 *мм*. Такой грохот позволяет одновременно получать несколько фракций путем подбора и установки соответствующих сит. Эффективность грохочения зависит от ряда факторов: влажности материала, размера отверстий, угла наклона грохота, его длины и скорости перемещения в нем материала. Производительность барабанного грохота зависит от его диаметра, числа оборотов и угла наклона, а также от размеров зерен глины и колеблется

от 1 до 3 *т/ч*. Недостатком грохота является быстрый износ сит и небольшая производительность.

Качающееся сито имеет вид плоского наклонного желоба с перфорированным днищем, опирающегося на ролики. Желоб приводится в движение эксцентриковым механизмом; иногда сито подвешивается на тягах или опирается на стержни. Материал

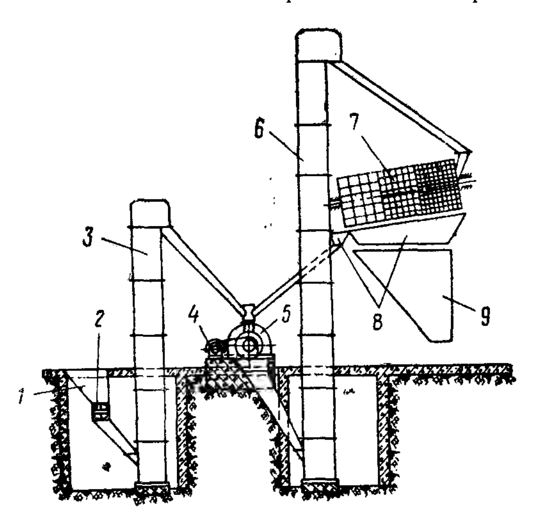


Рис. 33. Схема помольно-просеивающей установки, работающей по замкнутому циклу

1 — бункер; *2* — секционный питатель; *3* — элеватор; *4* — электродвигатель; *5* — центробежная мельница; *6* — элеватор; *7* — сито-бурат; *8*, *9* — бункера

перемещается под действием толчков, получаемых при возвратно-поступательном движении сита. Производительность качающегося сита от 5 до 15 $м^3/ч$.

Вибрационное сито является наиболее совершенным и высокопроизводительным. Оно представляет собой станину, внутри которой смонтирована вибрирующая рама, соединенная со станиной пружинами-амортизаторами. Сита крепятся к вибрирующей раме. Производительность такого сита от 20 до 25 *т/ч*.

Вибрационные сита имеют следующие основные преимущества:

1) высокий к. п. д., достигающий 0,90—0,98;

2) возможность просеивать материал на самых тонких ситах;

3) возможность просеивать липкие и слеживающиеся глины благодаря сильному встряхиванию материала и энергичной очистке ячеек сита;

4) небольшие габаритные размеры и небольшой вес при высокой производительности;

5) простоту конструкции и обслуживания.

Вибрационные сита применяются в тех случаях, когда необходима более точная сортировка глин по зерновому составу (например, при использовании неоднородных глин).

Недостатком качающихся и вибрационных сит является то, что они передают значительные динамические нагрузки на строительные конструкции, что затрудняет их размещение на перекрытиях этажей. Барабанные сита, являясь тихоходной машиной, практически свободны от этого недостатка.

Производительность сит возрастает при оборудовании их электроподогревом.

Помольные и просеивающие машины в большинстве случаев компонуют по «замкнутому циклу», как это показано на рис. 33, с тем чтобы материал, не прошедший через сито («отказ»), возвращался на домол в помольную машину.

5. Увлажнение порошка

При подготовке прессовочных порошков не всегда после помола удается получить порошок с влажностью, необходимой для прессования. Для обеспечивания производительной работы помольных машин и необходимой тонкости помола приходится иногда сушить и молоть глину при влажности, несколько ниже прессовочной, а затем порошок вновь увлажнять. Такое увлажнение производят в глиномешалках распылением воды или паром в специальных аппаратах.

Основное требование, которое предъявляется к увлажняющему аппарату, сводится к тому, чтобы при увлажнении порошка не образовывались комочки переувлажненного материала («изюм»). Для этого вода подается в тонкораспыленном состоянии, а весь материал перемешивается. Хорошие результаты получаются при увлажнении глины во взвешенном состоянии, т. е. в тот момент, когда она выходит из бункера в смеситель. Работы НИИСтройкерамики показали, что при увлажнении глиняной массы паром качество кирпича намного повышается: устраняются трещины расслаивания, возрастают прочность и морозостойкость.

Во всех возможных случаях необходимо избегать повторного увлажнения глиняного порошка, так как добиться при этом равномерной влажности порошка весьма трудно по следующим причинам: в высушенном порошке крупные зерна являются более влажными, а мелкие более сухими. Влажная поверхность имеет всегда более низкую температуру, чем сухая, и поэтому пар в первую очередь конденсируется на более холодной влажной поверхности крупных кусочков глины. Мелкая фракция (наиболее сухая) или совсем не увлажняется или увлажняется в меньшей мере, в результате чего пофракционная влажность порошка не только не выравнивается, но иногда даже возрастает ее разброс.

Для выравнивания влажности применяют вылеживание порошка в бункерах. Однако процесс такого выравнивания протекает довольно медленно: в течение суток практически достигается выравнивание влажности в пределах одного зерна, но выравнивания влажности между отдельными зернами еще не наступает вследствие относительно небольшой контактной поверхности между ними. Кроме того, увлажнение поверхности зерен порошка приводит к снижению его сыпучести, что в последующем затрудняет его хранение в бункерах и транспортирование. Поэтому процесс вылеживания порошка следует считать полезным, улучшающим его прессовочные свойства, но нужно стремиться осуществлять его по возможности без предварительного увлажнения порошка.

§ 2. ПОДГОТОВКА ГЛИНЯНЫХ ПОРОШКОВ ПЛАСТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

При подготовке прессовочных порошков из смеси нескольких глин необходимо обеспечить относительно точную дозировку компонентов и достаточную однородность смеси. Для этой цели применяют их пластическую переработку.

При этом каждую разность глины сушат до влажности 8—9% в сушильном барабане и затем размалывают в дезинтеграторах, центробежных или ротационных мельницах. Полученные порошки дозируют и смешивают сначала всухую в двухвальных глиномялках, а затем во второй двухвальной глиномялке перерабатывают с добавкой воды до образования пластичного теста с влажностью 18—20%. Из него формуют на ленточном прессе заготовки («валюшки»), которые сушат в туннельных сушилках при начальной температуре теплоносителя 100—110° С до влажности 8—9%. Высушенную валюшку дробят и размалывают. Полученный порошок просеивают на барабанных или плоских грохотах для отделения фракций, превышающих максимально допустимый размер зерен. Иногда при просеве отделяют также пылевидную фракцию, которая ухудшает прессовочные свойства порошка. Приготовленный таким образом прессовочный порошок направляют в бункера вылеживания, а из них — питателем в пресс.

При такой схеме глину приходится двукратно сушить и измельчать, что связано с дополнительными затратами. Однако одно сухое смешение порошков не может обеспечить такой однородности смеси, которая достигается при пластической переработке, что делает ее обязательной для получения продукции кондиционного качества с минимальным процентом брака. Поэтому, несмотря на дополнительные затраты, подготовка порошков с пластической переработкой смеси находит значительное применение, в частности в производстве плиток для полов.

§ 3. ШЛИКЕРНЫЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ ГЛИНЯНЫХ ПОРОШКОВ

В тех случаях когда требуется достичь особо тщательного смешения тонкодисперсных компонентов с тем чтобы контактировались элементарные зерна компонентов смеси, а не их скопления (агрегаты), единственным способом получения однородной смеси является шликерный способ. Шликером в технологии керамики называют суспензию, состоящую из керамических материалов, т. е. массу с малой концентрацией дисперсной фазы, частицы которой могут неограниченно перемещаться относительно друг друга. Таким образом, шликеры являются жидкотекучими керамическими массами.

Приготовление порошков шликерным способом получило монопольное применение при производстве облицовочных фаянсовых плиток. Высокое качество порошков и другие преимущества их шликерного приготовления обусловили применение способа также в производстве плиток для полов, а в последние годы намечается его использование для обогащения глин в производстве изделий грубой керамики.

1. Приготовление шликера

В состав масс, из которых готовится шликер, могут входить пластичные и непластичные материалы. Пластичные материалы после грубого дробления на стугачах распускаются

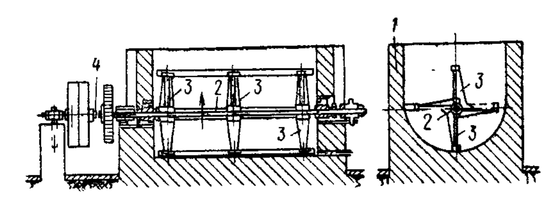


Рис. 34. Горизонтальная мешалка для приготовления глиняной суспензии

1 — резервуар мешалки; *2* — вал; *3* — лопасти; *4* — привод

в воде в горизонтальных (рис. 34), вертикальных (рис. 35) или пропеллерных (рис. 36) мешалках. Для сокращения длительности распускания воду подогревают до температуры 40—60° С. Обычно длительность распускания составляет 1—3 *ч*. Быстро распускаются каолины, наиболее медленно — монтмориллонитовые глины. Из мешалок глинистую суспензию пропускают через латунное сито с 400 *отв/см²*.

Непластичные материалы — кварц, полевой шпат, пегматит — дробят на щековых дробилках, подвергают грубому помолу на

бегунах и просеву, после чего подают для мокрого помола в шаровые мельницы. Иногда перед дроблением материалы обжигают, что повышает их размольную способность и улучшает термические свойства.

Существует раздельный и совместный помол отощающих материалов с пластичными. В первом случае отощающие материалы размалывают в шаровых мельницах мокрого помола с необходимым количеством воды и небольшой добавкой (2—3%) пластичных материалов для обеспечения устойчивости суспензии, во

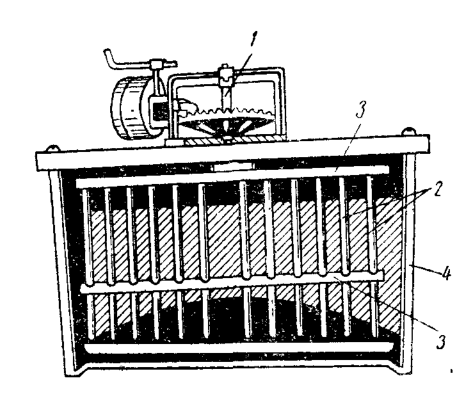


Рис. 35. Вертикальная лопастная мешалка

1 — главный вал; *2* — лопасти; *3* — основание лопастей; *4* — резервуар

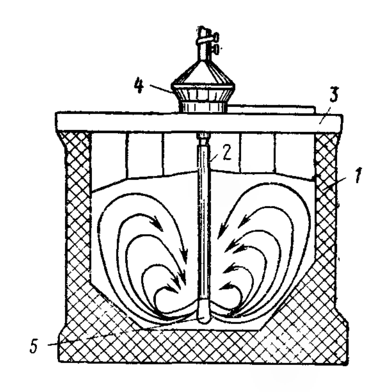


Рис. 36. Пропеллерная мешалка

1 — резервуар; *2* — главный вал; *3* — крышка; *4* — передаточный механизм; *5* — пропеллер

втором случае все количество пластичных материалов согласно принятой рецептуре загружается вместе с отощающими материалами в шаровую мельницу и все компоненты размалывают с необходимым количеством воды. Совместный помол обеспечивает более тщательное перемешивание компонентов, но резко снижает производительность мельниц. Поэтому в большинстве случаев применяют раздельный помол.

В мельницы добавляют небольшое количество (0,5—2%) поверхностно-активных добавок, например сульфитно-спиртовую барду, повышающую производительность мельниц на 10—20%. Влияние таких добавок на размольную способность материала основано на том, что имея сильные полярные группы, они, втягиваясь в микротрещины частиц материала, оказывают расклинивающее действие и тем самым облегчают и ускоряют разрушение размалываемого материала.

Для достижения необходимой текучести шликера при минимальной влажности в него добавляют пептизирующие электролиты. Влажность шликеров, из которых готовятся порошки, составляет 42—45%.

Шаровые мельницы загружают путем перекачивания жидкости из расходного резервуара насосом или под вакуумом (рис. 37). В последнем случае барабан мельницы соединяют шлангами с резервуаром расходного бассейна и вакуум-насосом. При его включении в мельнице создается разрежение и жидкая масса из бассейна начинает поступать в мельницу, заполняя ее (5—8 $м^3$) в течение 3—5 *мин.*

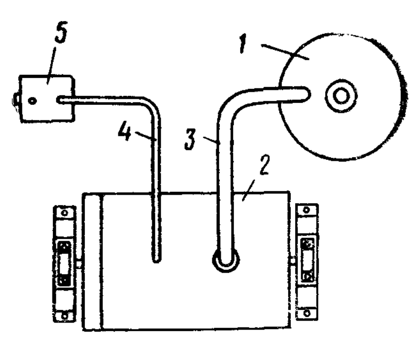


Рис. 37. Схема заполнения шаровой мельницы пульпой под вакуумом

1 — расходный бассейн; *2* — шаровая мельница; *3* и *4* — шланги; *5* — вакуум-насос

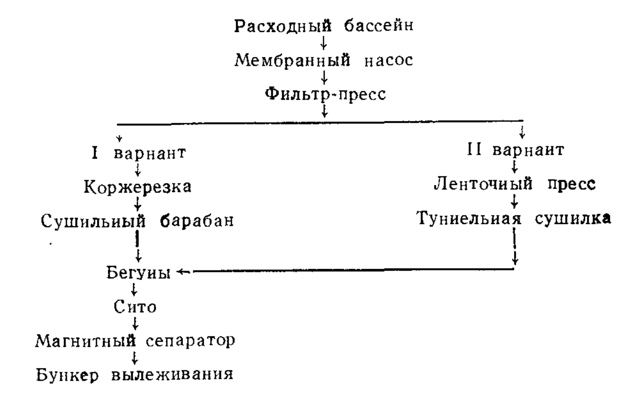
При подготовке шликера из одних глин их распускают с водой в мешалках, добавляя необходимое количество электролитов. Затем шликер перекачивают мембранными насосами в расходные бассейны, снабженные пропеллерными мешалками для поддержания устойчивости суспензии.

Шликеры для фаянсовых и фарфоровых масс перед сливом в расходные бассейны процеживают через вибросита и подвергают магнитной сепарации для улавливания дисперсных железистых примесей. Готовый шликер обезвоживается.

2. Обезвоживание шликера

Известны три способа обезвоживания шликера: фильтр-прессный, сушка в распылительных сушилках и сушка в сушильных барабанах.

Фильтр-прессный способ. Схема получения порошка при фильтр-прессном обезвоживании следующая.



Шликер мембранными насосами накачивается в рамные фильтр-прессы, в которых под воздействием гидравлического давления жидкости свободная вода отжимается и через фильтр-прессное полотно стекает в желоб. Наиболее распространены периодически действующие фильтр-прессы. Нормальное давление в конце фильтр-прессования составляет обычно 8—10 *атм.* Вес коржа толщиной 30 *мм* на раме размером 1000×1000 *мм* составляет 42 *кг.*

Существенное влияние на процесс фильтр-прессования оказывают качество и состояние фильтр-прессного полотна. Обычно применяют хлопчатобумажное полотно, не отделяющее волокон и ворсинок, загрязняющих массу; оно должно быть достаточно прочным и выдерживать давление больше 10 *атм.* Расход полотна на 1 *т* массы 1,4—1,5 *м.* Для увеличения срока службы полотно пропитывают аммиачным раствором меди. В последние годы начали применять полотна из синтетических тканей, обладающих большей долговечностью и лучшими фильтрационными свойствами, чем хлопчатобумажные.

Для ускорения фильтрации жидкую массу в сборниках подогревают до 30—35° С, благодаря чему уменьшается вязкость воды и ускоряется фильтрация. Продолжительность обезвоживания на фильтр-прессах при средней влажности коржей 25% составляет 1,5—3,5 *ч* в зависимости от пластичности массы.

Влажные коржи измельчают затем на специальных машинах (коржерезках), сушат в сушильных барабанах, после чего размалывают на бегунах, порошок просеивают, подвергают магнитной сепарации и направляют на вылеживание в бункера.

Несколько лучшие прессовочные свойства порошка получаются при сушке коржей не в сушильных барабанах, а в туннельных сушилках: более мягкий режим сушки и неподвижное положение материала исключают его истирание и образование пересушенной пылевидной фракции.

Как нетрудно видеть, фильтр-прессная схема многозвенна, а потому громоздка, трудоемка и дорога. К тому же фильтр-прессы являются источником загрязнения подготовительных отделений. По этим причинам плиточные заводы в последние годы стали сушить шликер непосредственно в сушильном барабане, а в последнее время повсеместное распространение получают для этой цели распылительные сушилки.

Сушка шликера в распылительных сушилках. Распылительные сушилки совмещают операции обезвоживания шликера и помола материала, исключая необходимость просева порошка. Благодаря этому схема подготовки порошков является наиболее компактной и экономичной и получает в последние годы широкое распространение как за рубежом, так и в отечественной керамической промышленности. Первые опыты по использованию этого способа были начаты в СССР М. Ю. Лурье в НИИСтройкерамике (1954—1955 гг.), а в настоящее время промышленные установки уже действуют на многих заводах и продолжают строиться. В нашей стране получили практическое применение два типа распылительных сушилок — Минского керамического завода и ПКБ НИИСтройкерамики.

Схема подготовки порошка с сушилкой Минского завода приведена на рис. 38. Из расходного бассейна *1* шликер насосом *2*

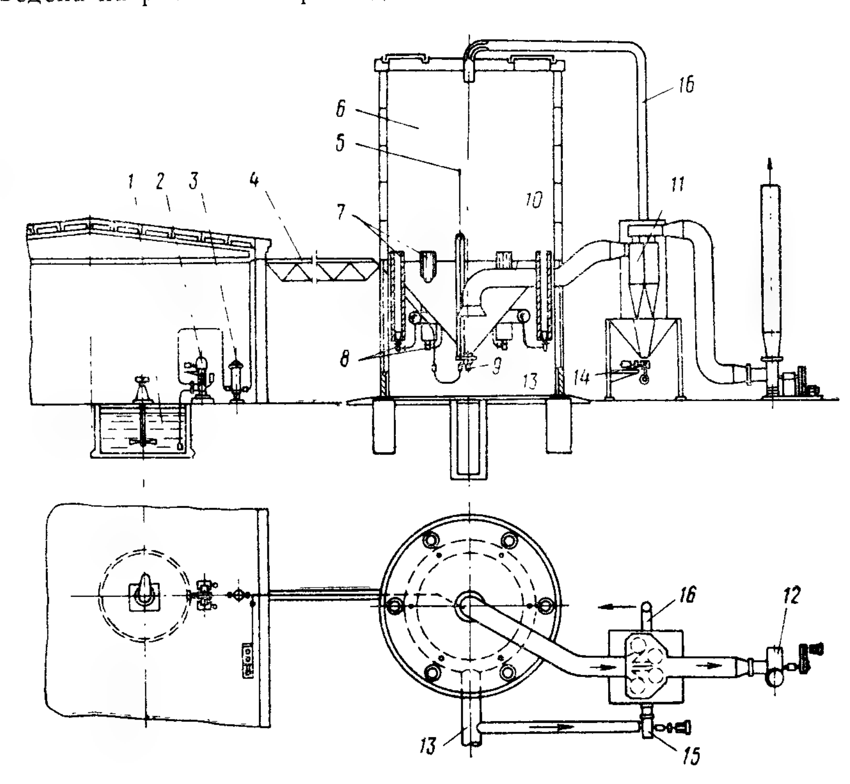


Рис. 38. Схема установки для приготовления порошка с сушкой шликера распылением

через рессивер *3* подается в шликеропровод *4*, а из него механической форсункой *5* распыляется в сушильной камере — башне *6*. Сушилка имеет шесть цилиндрических вертикальных топок *7*, встроенных в рабочую камеру, с горелками *8*, из которых горячие газы снизу вверх поступают в рабочую камеру сушилки. Здесь они взаимодействуют с каплями распыленного шликера, высушивают его и материал падает вниз в коническую часть камеры (сборник высушенного порошка), откуда через питатель *9* поступает на транспортное устройство. Отработанные газы отбирают снизу; по трубопроводу *10* они отсасываются из рабочей камеры сушилки, проходят батарейный циклон *11* и выбрасыва-

ются в атмосферу дымососом *12*. Горячий воздух к топкам подается по трубопроводу *13*. Из циклонов пыль через питатель *14* вентилятором *15* подается в трубопровод *16*, которым она возвращается в верхнюю часть рабочей камеры. Падая, пылевидные частицы соударяются с невысохшими частицами шликера и прилипают к ним, образуя укрупненные слипшиеся частицы.

Сушилку устанавливают вне здания цеха. Ограждающие конструкции камеры выполнены из металлических панелей, утепленных минеральной ватой, и отфутерованы листовой нержавеющей сталью. Под конусной частью камеры находится обслуживающее помещение, в котором установлена вся аппаратура контроля и регулирования и которое является рабочим помещением оператора.

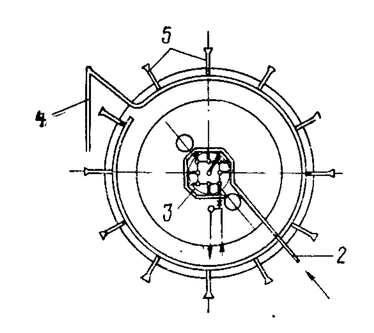


Рис. 39. Общий вид распылительной сушилки ПКБ НИИСтройкерамики

1 — рабочая камера; *2* — шликеропровод; *3* — форсунки; *4* — газопровод; *5* — горелки; *6* — циклон; *7* — отсасывающий вентилятор; *8* — аварийные трубы

Высота рабочей камеры 16 *м*, в том числе цилиндрической части 8 *м*, диаметр 9,2 *м*, объем 650 *м*³. Шликер подается под давлением 26—29 *атм* и распыляется механической форсункой с диаметром сопла 7,5 *мм* [33]. Температура топочных газов, поступающих в рабочую камеру, составляет 1100—1250° С, температура в верхней части рабочей камеры 150—180° С и отходящих газов 75—80° С. Влажность шликера 45, порошка 6,5—8%. В циклонах оседает около 1% порошка, а на контрольном сите остается 0,5%. Производительность сушилки по порошку достигает 5, а по испаренной влаге 4 *т/ч*, расход тепла 800 *ккал/кг* влаги.

Общий вид распылительной сушилки ПКБ НИИСтройкерамики приведен на рис. 39. Она имеет форму шахты с распаром. Ее ограждающие конструкции изготовлены из листовой нержавеющей стали и снаружи покрыты тепловой изоляцией. Максимальный диаметр камеры 4,5, высота 6,4 *м*, объем 53 *м*³. В крышке камеры установлено 9 механических форсунок для подачи шликера с диаметром сопла 2 *мм*, работающих под давлением 12—15 *атм*, создаваемом мембранным насосом СМ-938. По периметру камеры на расстоянии 3,3 *м* от крышки установлено 12 газовых инжекционных горелок среднего давления с пластинчатым стабилизатором ИГК-25. Таким образом, сжигание газа происходит внутри рабочей камеры сушилки, отработанные газы удаляются в нижней части камеры через вытяжной патрубок, приемное отверстие которого защищено зонтом от попадания шликера. Отходящие газы очищаются в циклоне-промывателе СИОТ № 3 и выбрасываются в атмосферу вентилятором ц13-50 № 7.

Производительность сушилки до 2,6 *т/ч* с 99%-ным выходом годного порошка и отходами после сита 0,1—0,2%. Унос в циклоне равен 1%. Влажность шликера колеблется в пределах 41,5—42,5, влажность порошка 7—8%. Гранулометрический состав порошка следующий:

размер отверстий в *мк*	1000	500	315	250	200	100	60	Менее 0,06
остаток на сите в %	7—9,5	10—12	10—12	27—33	14—17	15—22	3—6	0,5—1

Температура в камере на уровне горелок 230, вверху 205, а отходящих газов 155° С. Удельный расход тепла на 1 *кг* испаренной влаги составляет 695—745 *ккал*, удельный влагосъем —29—33 *кг/м*³ · *ч*.

Последняя модель распылительной сушилки НИИСтройкерамики имеет нижнюю распределенную подачу шликера.

Обстоятельные исследования свойств порошков, полученных фильтр-прессным способом и в распылительных сушилках, неизменно подтверждали преимущества последних [34, 35, 36]. В порошке распылительных сушилок практически отсутствуют пылевидная фракция и крупные частицы, о чем свидетельствуют интегральные кривые рис. 40.

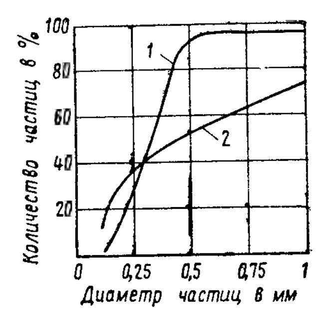


Рис. 40. Интегральные кривые гранулометрического состава порошков

1 — распылительной сушилки; *2* — фильтр-прессного

Зерна порошка имеют шарообразную или несколько вытянутую форму, порошок обладает большой сыпучестью и почти не содержит пылевидных фракций. Сравнительные данные гранулометрического состава приведены в табл. 8.

Таблица 8

Гранулометрический состав порошков

Способ получения	Фракции порошка в % с размером зерен в *мк*			
	менее 250	250—500	500—1000	более 1 *мм*
Из распылительной сушилки	25	65	10	Менее 1
Фильтр-прессный . .	50	40	10	—

Таблица 9

Показатели сыпучести порошков

Способ получения порошка	Влажность в %	Сыпучесть в *г/сек*
Из распылительной сушилки нефракционированный . . .	7,8	51,6
Фильтр-прессный:		
нефракционированный . . .	7,6	0
выделены частицы < 0,12 *мм* .	7,6	41,6
выделены частицы < 0,15 *мм* . .	7	44,1

Благодаря окатанной, почти шаровидной форме частиц порошок распылительных сушилок обладает высокой сыпучестью, о чем свидетельствуют данные табл. 9.

Высокая сыпучесть порошка необходима для правильного его хранения в бункерах и транспортирования; она имеет огромное значение и при прессовании изделий.

Одной из характеристик дисперсности порошка является средний диаметр зерен d_c, под которым понимают отношение суммарного объема всех частиц к их поверхности:

$$d_c = \frac{\Sigma n_i d_i^3}{\Sigma n_i d_i^2}, \quad (16)$$

где n_i — число частиц диаметром d_i.

Для порошка распылительной сушилки средний диаметр можно определить по результатам ситового анализа

$$d_c = \frac{\Sigma g_i}{\sum \frac{g_i}{d_i}}, \quad (17)$$

где g_i — весовая доля в % частиц диаметром d_i.

Интегральные кривые гранулометрического состава порошка описываются уравнением

$$\ln R_i = -B\left(\frac{d_i}{d_c}\right)^m, \quad (18)$$

где R_i — весовая доля всех частиц диаметром больше d_i; B — постоянный коэффициент, равный примерно 0,43; m — показатель степени, равный 3,55.

Анализ интегральных кривых показал, что в порошке распылительных сушилок практически отсутствуют частицы, имеющие диаметр в два раза больше или меньше среднего объемно-поверхностного диаметра, что свидетельствует о высокой однородности этого порошка по крупности зерен.

Зависимость d_c от влажности шликера w_0 в пределах $36\% < w_0 < 80\%$ имеет прямолинейный характер

$$d_c = 0{,}362 - 0{,}252 \cdot 10^{-2}\ w_0. \quad (19)$$

Эта зависимость указывает на увеличение дисперсности порошка с возрастанием влажности шликера. Мерой влажностной однородности порошка может служить отношение $w_i : w_{cp}$, где w_i — влажность частиц размером d_i, а w_{cp} — средняя влажность порошка. Кривая, характеризующая влажностную однородность, приведена на рис. 41. Она показывает, что влажность подавляющей части порошка почти не отличается от его средней влажности.

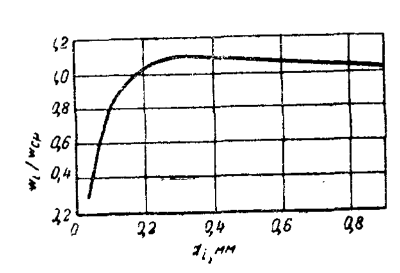


Рис. 41. Характеристика влажностной однородности порошка распылительной сушилки

Простота схемы, высокая экономичность и несравненно лучшие качества порошка, получаемого в распылительных сушилках, обусловили интенсивное распространение этого способа в производстве плиток и открывают благоприятные перспективы его применения в производстве изделий грубой керамики.

Глава шестая

ПОДГОТОВКА ЛИТЕЙНЫХ ШЛИКЕРОВ

Многие керамические изделия формуются заливкой так называемого литейного шликера в гипсовые формы.

§ 1. СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ ШЛИКЕРОВ

Качество керамических изделий, сформованных методом литья, в значительной мере зависит от свойств литейного шликера. Для получения высококачественных изделий литейные шликеры должны отвечать следующим требованиям:

иметь необходимый вещественный и химический состав дисперсной фазы;

обладать необходимой текучестью при минимальной влажности;

иметь минимальную загустеваемость;

обладать возможно лучшими фильтрационными свойствами;

быть устойчивыми против расслаивания;

обеспечивать возможно большую связность (прочность) отлитого изделия.

1. Состав шликера

Состав твердой фазы шликера определяется физико-механическими свойствами, которыми должно обладать готовое изделие. Обычно состав подбирается экспериментальным путем. Один и тот же химический состав шликера может быть получен при различном вещественном составе исходных компонентов. Свойства шликера зависят от его вещественного состава. Так, например, каолин можно вводить сырой и жженый; химический состав шликера будет один и тот же, но свойства его, а также отливки будут существенно различны, что следует учитывать при опытном подборе вещественного состава.

Аналогичным образом влияет и дисперсность (тонкость помола) компонентов. При одном и том же химическом и вещественном составе свойства шликера и отливки могут существенно меняться с изменением тонкости помола компонентов.

2. Текучесть шликера

Текучесть шликера является величиной, обратной вязкости, и характеризует подвижность шликера. Она определяется длительностью в секундах истечения 100 *см*^{3} шликера при нормальной температуре (+15° С) через отверстие диаметром 6 *мм* в вискозиметрах Энглера или Коля.

Текучесть шликера зависит от его влажности, содержания глинистых компонентов в составе твердой фазы и их минералогической характеристики, дисперсности твердой фазы и температуры шликера. С повышением влажности и температуры текучесть возрастает. Поэтому для достижения необходимой текучести при меньшей влажности шликер подогревают до температуры не выше 60° С. С повышением содержания глинистых компонентов и дисперсности твердой фазы текучесть понижается, так как при этом большее количество воды переходит в связанные формы.

3. Загустеваемость шликера

Загустеваемость шликера τ является результатом его тиксотропного упрочнения (см. главу II, § 2) и измеряется отношением вязкости через 30 *мин* η_{30} к вязкости через 30 *сек* $\eta_{0,5}$ после его приготовления, т. е.

$$\tau = \frac{\eta_{30}}{\eta_{0,5}}. \qquad (20)$$

Загустеваемость шликеров зависит главным образом от количества и состава каолинов, содержащихся в адсорбированном комплексе глин и катионов. Катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} обусловливают быструю загустеваемость, равно как и анион SO_3^{2-}. Шликеры с высокой загустеваемостью практически непригодны для отливки изделий, так как будут плохо заполнять форму и вызывать трудности транспортирования по шликеропроводам.

4. Фильтрационные свойства шликера

Эти свойства определяют скорость водоотдачи шликера при контакте с поверхностью гипсовой формы. От этой характеристики шликера зависит длительность набора черепка, т. е. созревания отливки, и, как следствие, производительность литейных конвейеров и площадей. Интенсивность водоотдачи шликера зависит от его влажности, количества и состава глинистой части и тонкости помола отощающих.

5. Устойчивость шликера

Это свойство характеризует способность шликера сохранять частицы твердой фазы во взвешенном состоянии, не давая им возможности коагулироваться и выпадать в осадок. Устойчивость шликера зависит от количественного соотношения между силами отталкивания твердых частиц друг от друга и их взаимного притяжения. Притяжение частиц объясняется действием межмолекулярных сил, отталкивание — наличием одноименных зарядов в диффузном слое сорбированного комплекса глинистой частицы.

Адсорбированные катионы и катионы диффузного слоя (см. главу II, §2) экранируют действие межмолекулярных сил притяжения, и последние ослабевают по мере утолщения диффузного слоя. На рис. 42 схематически изображена диаграмма взаимодействия сил отталкивания и притяжения в суспензии. Она показывает, что при близких расстояниях между частицами (малой толщине диффузного слоя) превалируют силы притяжения. По достижении некоторого предела толщины диффузного слоя, т. е. с увеличением расстояния между частицами, начинают превалировать силы отталкивания.

Коллоидная система, т. е. в данном случае шликер, будет устойчивым, если между частицами существует достаточно сильное

отталкивание. Если оно относительно слабое или совсем отсутствует, а тем более если результат взаимодействия упомянутых сил складывается в пользу притяжения частиц, то система окажется неустойчивой и будет коагулировать.

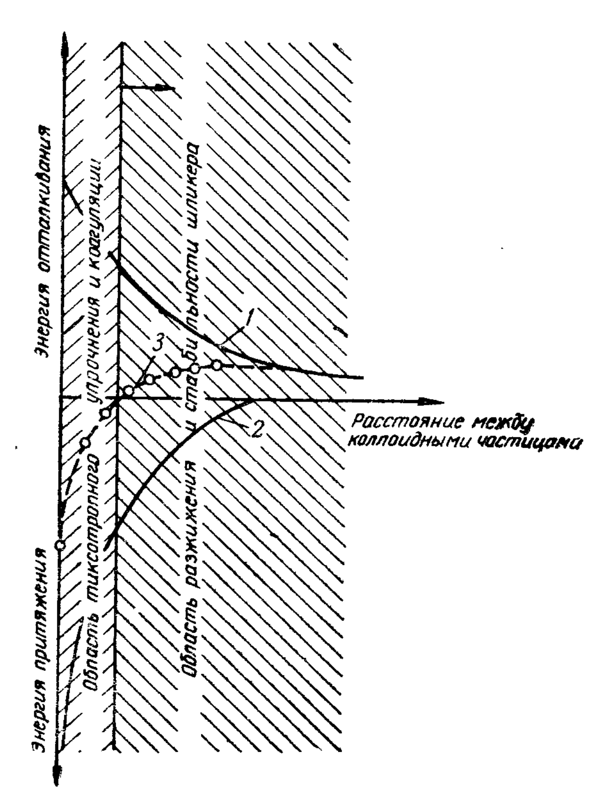


Рис. 42. Схема взаимодействия сил притяжения и и отталкивания в коллоидной суспензии

1 — изменение энергии отталкивания; *2* — изменение энергии притяжения; *3* — результативная кривая взаимодействия сил отталкивания и притяжения

Устойчивость шликера зависит от количества и минерального типа глинистой части, от тонкости помола отощающих, состава и концентрации электролитов. С увеличением содержания глинистой части и повышением дисперсности отощающих устойчивость шликера повышается.

6. Связность отливки

Связность отливки зависит главным образом от вещественного состава и влажности шликера. Увеличение глинистой части в составе шликера, в особенности монтмориллонитовых глин, повышает связность отливки. Высоковлажные шликеры обусловливают образование рыхлой малопрочной отливки.

§ 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЛИНЫ С ЭЛЕКТРОЛИТАМИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ШЛИКЕРОВ

Во всех рассмотренных характеристиках шликеров подчеркивалось влияние на них влажности, температуры, состава и дисперсности твердой фазы. Однако одним из наиболее мощных средств регулирования важнейших свойств шликера является ввод в него электролитов. Взаимодействие глины с электролитами во многом определяет главнейшие свойства шликера, и этим приемом широко пользуются в технологии керамики во всех случаях, когда приходится иметь дело со шликерами. В связи с этим представляется особо важным четко уяснить механизм взаимодействия глины с электролитами и вытекающие из этого практические выводы для технологии керамики.

Механизм взаимодействия глины с электролитами в самом схематическом приближении может быть представлен следующим образом. Как уже отмечалось выше (см. главу II, § 2), зерно глинообразующего минерала имеет отрицательный заряд, который компенсирован адсорбированными катионами, содержащимися всегда в воде и глинистой породе. Эти катионы располагаются непосредственно на поверхности глинистого зерна, образуя внешнюю обкладку двойного электрического слоя, а также находятся на некотором расстоянии от поверхности, образуя диффузный слой сорбированного комплекса катионов. Катионы сорбированного комплекса окружены водной оболочкой, которая является водой связанной. Водные оболочки катионов, адсорбированных непосредственно на поверхности глинистого зерна, образуют прочно связанную воду, практически не обладающую подвижностью. Водные оболочки катионов диффузного слоя образуют рыхло связанную воду с ограниченной подвижностью, существенно меньшей, чем подвижность свободной воды.

Наиболее типичными катионами сорбированного комплекса в глинах является Ca^{2+}, связывающий отдельные глинистые зерна в агрегированные (слипшиеся) глиняные частицы. При вводе в глинистую суспензию электролита, например Na_2SiO_3 (жидкое стекло), его молекулы диссоциируют на Na^+, Na^+ и $(SiO_3)^{2-}$. Энергия адсорбции Na^+ меньше, чем Ca^{2+}, поэтому, оказавшись в суспензии, он начинает вытеснять из сорбированного комплекса катионы Ca^{2+}, замещая их. При этом сначала замещаются катионы диффузного слоя (как менее прочно связанные), а затем и катионы Ca^{2+} поверхностного слоя.

При каждом замещении двухвалентного катиона Ca^{2+} одновалентным Na^+ в глинистом зерне возникает избыточный отрица-

тельный заряд. Если такое замещение произошло в двух слипшихся глинистых зернах, то в них появятся одноименные некомпенсированные заряды, которые обусловят отталкивание зерен друг от друга. В силу этого глинистая частица начнет диспергироваться (разъединяться) на отдельные элементарные зерна. Таким образом, интенсификация процесса диспергирования глины является первым результатом воздействия на нее электролитов. Иначе говоря, электролиты способствуют размоканию глины.

Вытесненный из сорбированного комплекса Ca^{2+} вместе со своей гидратной оболочкой мигрирует в суспензию (за пределы диффузного слоя) и там встречается с анионом $(SiO_3)^{2-}$. При этом происходит реакция

$$Ca^{2+} + (SiO_3)^{2-} = CaSiO_3.$$

Кремнекислый кальций нерастворим в воде и выпадает в осадок, освобождая гидратную оболочку связанной воды, обладателем которой является Ca^{2+}. Таким образом, в результате соединения Ca^{2+} с $(SiO_3)^{2-}$ и выпадания осадка при неизменном общем количестве воды в глинистой суспензии происходит увеличение количества свободной (обладающей большой подвижностью) воды за счет уменьшения количества связанной воды. Такое перераспределение воды приводит к разжижению суспензии: при неизменной влажности она начинает приобретать большую текучесть.

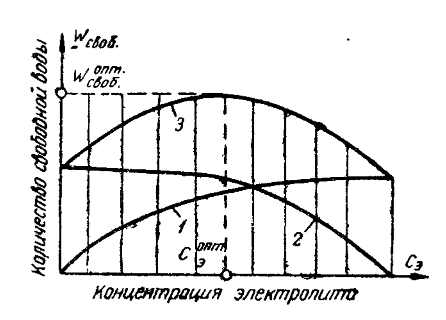


Рис. 43. Схема изменения количества свободной воды в глинистой суспензии при действии электролитов

1 — локальное изменение количества свободной воды за счет факторов, обусловливающих перевод связанной воды в свободную; *2* — локальное изменение количества свободной воды при возрастании концентрации электролита; *3* — результативная кривая изменения количества свободной воды

Диссоциированные анионы также могут участвовать в разжижении шликера, вытесняя молекулы воды, адсорбированные непосредственно на поверхности глинистой частицы. На этом принципе основано, в частности, разжижение шликеров органическими пептизаторами.

По мере увеличения концентрации электролитов все большее количество катионов Ca^{2+} будет замещаться и выпадать в осадок в виде соединения $CaSiO_3$, освобождая гидратные оболочки связанной воды, а суспензия будет продолжать разжижаться.

Однако процесс разжижения с увеличением концентрации электролита продолжается лишь до определенного предела. Наряду с рассмотренным фактором, обусловливающим перевод связанной воды в свободную, в процессе взаимодействия глины с электролитами действуют факторы обратного характера, т. е. обусловливающие перевод воды из свободной формы в связанную. Рассмотрим некоторые из них.

Одна молекула электролита Ni_2SiO_3 освобождает всего лишь один анион $(SiO_3)^{2-}$, который может вывести в осадок один катион Ca^{2+}. Между тем два катиона Na^{+} будут вытеснять из сорбированного комплекса два катиона Ca^{2+}, из которых один выпадет в осадок, а второй окажется «блуждающим» в суспензии. Очутившись в суспензии, он создает вокруг себя гидратную оболочку, связав некоторое количество свободной воды. По мере накопления блуждающих катионов Ca^{2+} количество воды, которое они будут связывать, будет возрастать, что начнет приводить к снижению текучести суспензии. Имеются и другие факторы, обусловливающие перевод воды из свободной формы в связанную. Таким образом, при взаимодействии глины с электролитами действуют одновременно две группы факторов: первая из них обусловливает увеличение количества свободной воды в суспензии, а вторая — ее уменьшение. При низких концентрациях электролита превалируют факторы, обусловливающие накопление свободной воды, а при высоких — накопление связанной воды. Схематически их взаимодействие показано на рис. 43. Наличие максимума на результативной кривой количества свободной воды в суспензии указывает на существование оптимальной концентрации электролита $C_э^{опт}$, при которой текучесть системы будет максимальной, а вязкость минимальной. Это неизменно подтверждается опытными кривыми разжижения (рис. 44), которые имеют минимум, соответствующий оптимальной концентрации электролитов [37]. Как видно, разные электролиты неодинаково действуют на глину. Некоторые из них имеют максимум разжижения в виде острого пика (кривая *3*), а у других максимум разжижения распространяется в некотором интервале концентраций, образуя на кривых разжижения площадку. Чем больше эта площадка, тем удобней электролит в производстве. При электролитах с острым максимумом разжижения даже небольшая неточность в их дозировке исключает возможность работы на оптимальных концентрациях

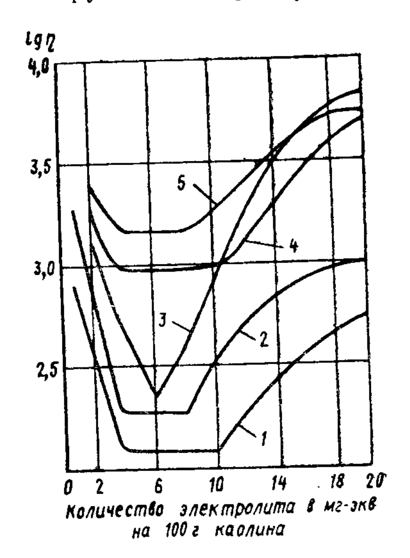


Рис. 44. Кривые разжижения просяновского каолина мокрого обогащения электролитами

1 — $Na_2P_2O_7$; *2* — Na_2SiO_3; *3* — $NaOH$; *4* — Na_2CO_3; *5* — $Na_2C_2O_4$

электролита. Чаще всего применяют в качестве разжижающих электролитов жидкое стекло и соду, комбинируя их в оптимальных пропорциях.

В необходимых случаях электролиты применяют не только для разжижения, но и для коагуляции глин. В качестве коагулирующего электролита применяют обычно известь, которая, диссоциируя, выделяет катион Ca^{2+}. Коагулирующее действие катионов Ca^{2+} объясняется тем, что они обусловливают сжатие

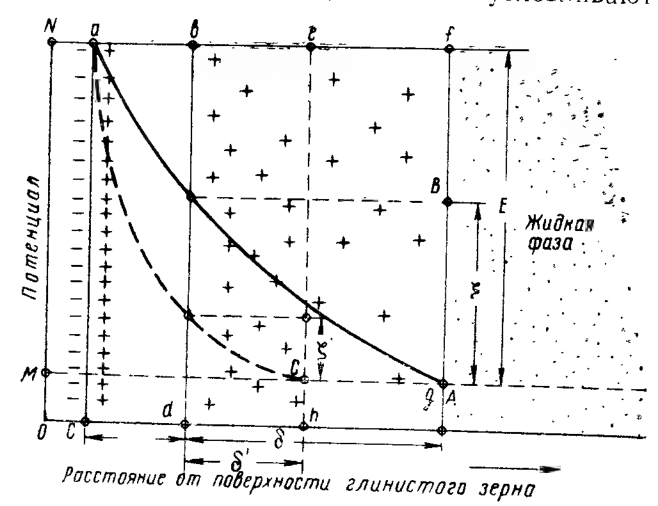


Рис. 45. Схема изменения электрокинетического потенциала с изменением толщины диффузного слоя

диффузного слоя с соответствующим уменьшением электрокинетического потенциала, который получил также название дзета-потенциала ζ глинистых частиц. Электрокинетическим потенциалом называется та часть разности потенциалов между неподвижным слоем ионов и жидкостью, которая соответствует его диффузному слою.

Поясним это определение графически (рис. 45) [38]. Вертикальная линия *ac* является поверхностью отрицательно заряженного глинистого зерна. К ней примыкает неподвижный слой катионов сорбированного комплекса, толщиной *cd*. Следовательно, линия *bd* является мысленной границей неподвижного слоя сорбированного комплекса. Вправо от линии *bd* расположены ионы диффузного слоя, плотность которых падает по направлению к жидкой фазе. Линия *fg* является условной границей диффузного слоя, толщина которого равна *dg*. Ордината *OM* выражает уровень потенциала заряженной частицы, а их разность *MN* — общий термодинамический потенциал сорбированного комплекса (потенциал Нернста), равный E_a. Пусть кривая *aA* изображает его изменение по толщине сорбированного комплекса. Тогда ордината *AB*, равная ζ, будет являться электрокинетическим потенциалом (дзета-потенциалом). При сжатии диффузного слоя до толщины *dh* изменится кривая распределения термодинамического потенциала по толщине сорбированного комплекса. Если она будет иметь вид кривой *aC*, то величина электрокинетического потенциала сжатого диффузного слоя уменьшится до ζ′.

Сжатие диффузного слоя и уменьшение величины электрокинетического потенциала обусловливает снижение того энергетического барьера, который мешает отдельным глинистым зернам слипаться в агрегированные частицы. Вследствие этого суспензия начнет коагулироваться.

Катионы Ca^{2+}, обусловливают сжатие диффузного слоя, так как они, обладая бо́льшим, чем одновалентные катионы, зарядом, сильнее притягиваются к поверхности глинистой частицы. Этим и объясняется коагулирующее действие ионов Ca^{2+}.

Таким образом, подбирая состав и концентрацию электролитов, можно в широких пределах регулировать все рабочие свойства шликеров, имеющие большое значение для их использования, особенно при изготовлении изделий методом литья.

При подборе концентрации электролита следует учитывать, что увеличение количества электролита отрицательно сказывается на водоотдаче шликера: по мере повышения их концентрации скорость набора черепка непрерывно понижается.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ШЛИКЕРОВ

Шликеры могут готовиться беспрессовым и прессовым способом. Беспрессовый шликер получают путем совместного или раздельного помола глинистых и отощающих материалов и их последующего смешения. Для получения прессового шликера сначала готовят шликер обычным способом, затем его обезвоживают на фильтр-прессах и коржи вновь распускают в пропеллерных мешалках. В процессе обезвоживания в фильтр-прессах вместе с водой из массы уходят растворимые соли, что в последующем дает возможность более свободно регулировать рабочие свойства литейного шликера в необходимых пределах.

При приготовлении литейного шликера его свойства можно улучшить выстаиванием. При выстаивании шликера с периодическим перемешиванием [39] происходит постепенное разжижение шликера, снижение его загустеваемости и разрушение структуры, сопровождающееся освобождением части механически захваченной воды, что обусловливает более полное разжижение шликера. Выстаивание шликера способствует значительному понижению влажности отливки, сопровождается более полным завершением катионного обмена, диспергированием глинистых агрегатов, осаждением коагулирующих ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}. Водоотдача шликера по мере его выстаивания понижается, а продолжительность фильтрации возрастает примерно в 1,5 раза.

Улучшают свойства шликера его подогрев, ступенчатый ввод электролитов, который снижает необходимое количество электролита, и вакуумирование. При изучении влияния вакуумирования шликера на свойства изготовленных из него отливок установлено [40], что вакуумирование шликера при 745—750 *мм рт. ст.* увеличивает усадку изделий с 13,2 до 15,8%, ускоряет процессы спекания фарфоровых масс при обжиге и снижает температуру плавления на 10—15°; сопротивление разрыву возрастает примерно на 20% и ускоряется набор черепка. Так, вес тиглей, отлитых из невакуумированного шликера, составлял через 5 *мин* 22 *г*, а из вакуумированного — 29 *г*. Улучшаются также электроизоляционные свойства фарфора.

Г Л А В А С Е Д Ь М А Я

ПОДГОТОВКА НЕПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДОБАВОК

§ 1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШАМОТА

Шамот, вводимый в состав керамических масс, получают путем обжига огнеупорных глин или из отходов производства (размолотого брака или боя шамотных огнеупорных изделий, бывших в употреблении и тщательно очищенных); в последнем случае качество шамотного боя крайне непостоянно.

Путем специального обжига глин можно получить шамот постоянного качества. В этом случае глина поступает в печь в виде кусков или брикетов, обычно имеющих форму параллелепипеда, жгутиков или кусков эллипсоидной формы. Брикет должен быть достаточно прочен.

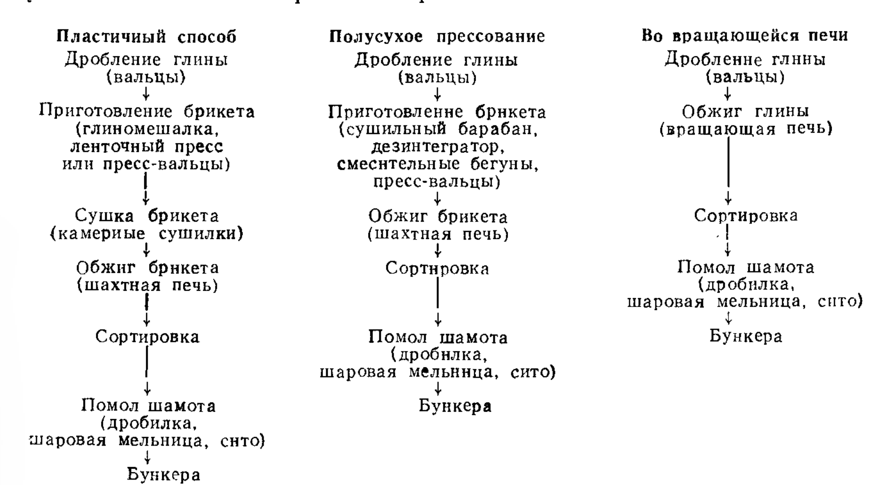
Подготовка брикета. Существует два способа формования брикета — мокрый при влажности брикета 18—20% и выше и сухой при влажности не более 10—14%.

Таблица 10

Расход электроэнергии и затраты труда при мокром и полусухом формовании брикетов (на 1 *т* брикета)

Способ формования брикетов	Расход электроэнергии в *квт·ч*	Затраты труда в чел.-днях	Расход электроэнергии в *квт·ч* на обжиг 1 *т* шамота в шахтной печи
Мокрый	14,5	0,19	13,2
Полусухой . . .	19	0,105	14,2

Технологическая схема производства шамотного порошка из кусковой глины или брикетов приводится ниже.



Сравнение схем показывает, что изготовление брикетов, сформованных из пластичной массы, особенно в тех случаях, когда они не подсушиваются, проще и обходится несколько дешевле, чем при полусухом способе. Данные, приведенные в табл. 10, показывают, что расход электроэнергии при пластическом формовании и обжиге в шахтных печах меньше, а потребность в рабочей силе больше, чем при полусухом прессовании.

Для формования брикета на некоторых заводах применяют пресс-вальцы. Прочность получаемого при этом брикета достигает 15—18 $кГ/см^2$ вместо 10 $кГ/см^2$ при формовании на ленточных прессах. Производительность пресс-вальцов 14 *т/ч*.

При полусухом прессовании брикетов большое значение имеет уплотнение молотой глины с целью удаления из нее воздуха и, следовательно, увеличение механической прочности брикета. Отрицательное влияние воздуха, содержащегося в глине, сказывается и в процессе обжига, так как воздух препятствует спеканию частиц массы, способствуя повышению ее пористости и понижению прочности. Вот почему при полусухом способе производства применяются смесительные бегуны, способствующие уплотнению массы.

Качество массы значительно улучшается путем обработки ее паром.

Обжиг. Глину обжигают в шахтных и вращающихся печах. При обжиге глину необходимо доводить почти до спекания, не допуская ее пережога, так как в противном случае шамот теряет способность поглощать воду. Неспекающиеся глины следует обжигать до такой температуры, при которой дополнительная усадка в процессе обжига изделий не превышает 0,5%. В зависимости от свойств глин температура обжига колеблется между

1250—1400° С. Чем слабее обожжена глина, тем больше усадка шамотированных изделий. После обжига шамот необходимо отсортировать, недожог и куски с выплавками колчедана должны быть удалены.

Таблица 11

Сравнительная характеристика печей для обжига глины на шамот

Показатели	Тип печей	
	шахтная	вращающаяся
Расход условного топлива в *кг/т* . . .	120—130	120—140
Трудовые затраты на 1 *т* обожженного шамота в чел.-час.	2—2,5	1—1,5
Продолжительность обжига в *ч* . . .	40—55	2,5—3,5

Сравнительная характеристика печей для обжига шамота приведена в табл. 11.

Выбор типа печи зависит от объема производства, вида топлива и других местных условий. Вращающиеся печи рекомендуется применять при больших объемах производства (30 тыс. *т* в год и выше), а при малых можно использовать свободное пространство печей, в которых обжигают готовую продукцию.

Доброкачественный шамот должен обладать определенной огнеупорностью и химическим составом, постоянным водопоглощением: 6—7% высокожженый и 24—26% низкожженый. В шамоте не должно быть ошлаковки от золы топлива, железистых и других выплавок, а также посторонних включений, понижающих его огнеупорность и нарушающих однородность структуры. Объемный вес шамота 1,6—2,1 *г/см*³; удельный вес 2,6—2,7.

Шамот необходимо хранить в закрытых сухих помещениях или бункерах и перевозить в закрытых чистых транспортных устройствах.

Помол шамота. Следующей после обжига операцией является помол шамота, так как для создания однородной структуры изделия необходима определенная степень измельчения шамота. Варьируя зерновой состав отдельных компонентов массы, можно существенно изменять свойства керамических изделий — плотность, механическую прочность, газопроницаемость, термическую устойчивость и др.

Необходимое количество и величину частиц материала подбирают с таким расчетом, чтобы свободное пространство между крупными зернами заполнялось более мелкими, т. е. чтобы плотность укладки зерен была максимальной. При заполнении же объема зернами шамота одинаковой величины плотность их укладки возрастает очень незначительно. Так, например, плотность укладки зерен размером 5 *мм* составляет 1,42, а зерен размером 0,2 *мм* — 1,45 *г/см*³.

Для изготовления шамотных масс обычно ограничиваются двумя-тремя фракциями шамота: крупная фракция со средней величиной зерен от 2 до 4, средняя — от 0,5 до 2 и мелкая — от

0,5 до 0,15 *мм*. Соотношение между отдельными фракциями устанавливается опытным путем. Максимальная плотность укладки двух-трех указанных фракций зерен достигается при следующем их соотношении: крупной фракции 43, средней 23 и мелкой 34%.

Не менее важное значение имеет форма зерен шамота. Так, острогранные продолговатые зерна более прочно сцепляются с глиной, чем круглые окатанные. Указанные технологические требования к зерновому составу шамота должны учитываться при выборе помольных машин.

Измельчение можно вести в присутствии воды или без нее. Наиболее распространенным агрегатом для помола шамота сухим способом является шаровая мельница непрерывного действия с периферийной разгрузкой. Размеры мельницы: диаметр от 1,3 до 2,7 *м*, длина от 0,8 до 1,45 *м*, производительность при величине зерна<3 *мм* — от 3,5 до 9,5 *т/ч*. Наилучший по форме шамот получается при помоле на двух вальцовых мельницах, установленных последовательно. Однако в этом случае выход мелких фракций невелик (10—20%). Промежуточное положение между вальцами и шаровой мельницей занимают помольные бегуны с катками (не тяжелее 3 *т*) и отверстиями в чаше, но они расходуют много электроэнергии. Шамот по фракциям рассевают на вибрационных грохотах.

При мокром помоле (в шаровых мельницах периодического действия) достигаются весьма тонкая степень измельчения и тщательное перемешивание отдельных компонентов массы, производительность же применяемых агрегатов значительно ниже, чем при сухом. В производстве шамотных изделий мокрый помол применяется весьма редко.

Аналогичными шамоту материалами (по их назначению и способу приготовления) являются обожженный каолин и дегидратированная глина. Кроме того, в качестве отощающей добавки используют бой готовых изделий («череп»).

Обожженный каолин готовят так же, как шамот, добавляя в брикеты при формовании некоторое количество огнеупорной глины для их упрочнения и уменьшения уносов с отходящими газами.

Дегидратированную глину, которую называют также низкожженым шамотом, обжигают при температурах, несколько превышающих температуру дегидратации (700—800° С). Ее обжигают во вращающихся печах, а в последние годы на одном из Белорусских заводов освоен обжиг дегидратированной глины на ленточных агломерационных машинах, которые являются наиболее перспективным агрегатом для этой цепи. Проведены также успешные опыты по обжигу дегидратированной глины в печах кипящего слоя.

Череп подвергают лишь дроблению, грубому помолу и просеву.

§ 2. ПОДГОТОВКА КАМЕНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Каменистые непластичные материалы — кварц, полевой шпат, пегматит, — которые прибывают на заводы в виде крупных кусков, лучше всего предварительно обжигать при температуре 1000—1100° С, что облегчает их последующее измельчение и улучшает термические свойства изделий. Крупные и мелкие трещины, возникающие в каменистых породах при обжиге вследствие термических напряжений и напряжений от объемных изменений при полиморфных превращениях кремнезема, разрыхляют структуру материала и понижают его прочность.

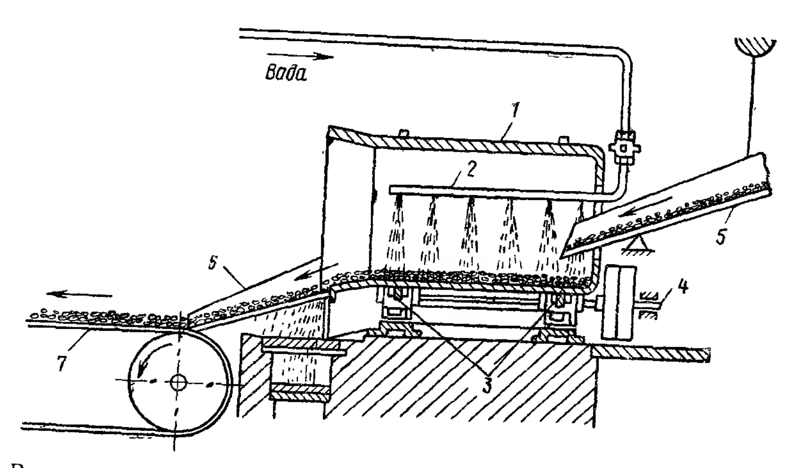


Рис. 46. Установка для промывки каменистых материалов перед грубым помолом

1 — барабан; *2* — **распылитель;** *3* — **катки;** *4* — главный вал; *5* и *6* — **лотки;** *7* — ленточный транспортер

Обожженные куски каменистых материалов подвергают вначале первичному дроблению в щековых, реже — в валковых дробилках. После дробления материалы промывают для удаления рыхлых загрязнений. Для промывания используют моечные установки с наклонными вибрирующими лотками или установки барабанного типа, показанные на рис. 46. Металлический барабан футеруют керамическими плитками. Внутренний его диаметр равен 0,8—1,5 *м*, число оборотов 20—30 в 1 *мин*.

Промытые куски каменных материалов подвергают грубому дроблению на бегунах с гранитным подом и гранитными катками во избежание загрязнения намолом железа. Молотый порошок просеивают на барабанных или плоских ситах с 98 *отв/см²*, через которые проходят частицы размером менее 1 *мм*, и затем направляют в расходные бункера.

Установки для дробления, помола и просева каменистых ма-

териалов компонуют по принципу работы с замкнутым циклом, т. е. с возвратом «отказа» от сит на вторичный помол.

Песок, используемый в производстве изделий грубой керамики, подвергают лишь просеву через сита с отверстиями 3 *мм* для отделения каменистых включений. Для изготовления изделий тонкой керамики используют обычно чистые пески, не требующие обогащения.

§ 3. ПОДГОТОВКА ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК

Опилки подвергают просеву через сито с отверстием 10 *мм*. Механизацию этой операции осуществляют по схе-

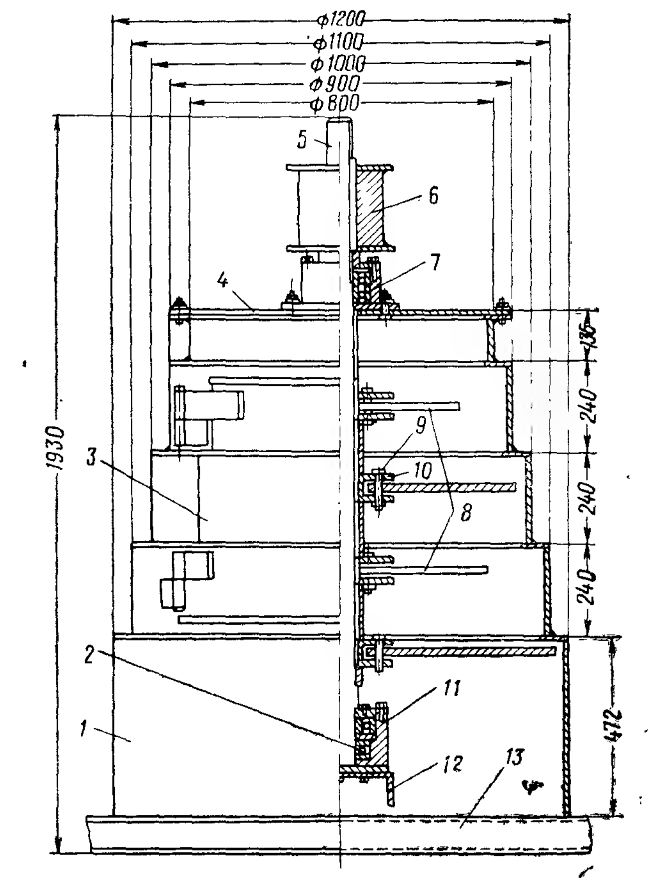


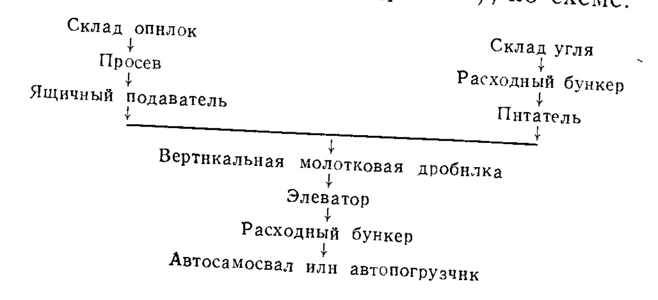
Рис. 47. Вертикальная молотковая дробилка

1 — корпус; *2* — шарикоподшипник упорный; *3* — дверца; *4* — крышка корпуса дробилки; *5* — вал; *6* — шкив; *7* — подшипник шариковый; *8* — молотки; *9* — палец молотка; *10* — диск; *11* — подшипник шариковый; *12* — балка опорная; *13* — основание

ме: крытый склад опилок → многоковшовый экскаватор ЭМ-182 → плоское качающееся сито → транспортер → ящичный подаватель. Можно работать также по схеме: склад опилок → бульдозер → эстакада → сито-бурат → ящичный подаватель. Отходы от просева сжигают в топках сушильных установок.

Угли различных марок (каменные, бурые, антрациты) подвергают помолу на молотковых или валковых дробилках и просеву через сито с размером отверстий 3 *мм*. Мелкие фракции углей являются наименее дефицитными, наиболее дешевыми и требуют лишь просева, поэтому использование их целесообразнее. Количество угля, прошедшего через сито с отверстиями 3 *мм*, в этом случае составляет 70—80%. Его используют в качестве добавок, а часть угля, не прошедшую через сито, сжигают в топках сушильных установок или в кольцевых печах.

Некоторые заводы применяют централизованную подготовку выгорающих добавок с совместным помолом опилок и угля в вертикальных молотковых дробилках по типу, разработанному на Никольском кирпичном заводе (рис. 47), по схеме:



Глава восьмая

ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ МАСС

Керамические изделия формуют из пластичных, порошкообразных и жидкотекучих масс (шликеров).

К массам пластичной консистенции* относятся дисперсные системы, у которых сумма сил внутреннего сцепления (когезия) больше сцепления с поверхностью большинства материалов (адгезия). Коэффициент внутреннего трения у таких масс больше коэффициента их внешнего трения.

Формование изделий из пластичного теста осуществляют ленточным формованием (протяжкой), штамповкой в гипсовых или металлических формах и в отдельных случаях ручным формованием в гипсовых формах (лепкой).

* Консистенция — сумма сил внутреннего сцепления системы.

§ 1. ЛЕНТОЧНОЕ ФОРМОВАНИЕ

Непрерывную ленту с последующей разрезкой на отдельные изделия формуют в шнековых прессах. Применявшиеся в прошлом другие типы ленточных прессов (вальцовые, поршневые, транспортерный пресс Артемкина) практически уже вышли из употребления. Ленточные прессы бывают безвакуумные и вакуумные.

Характер движения керамической массы в ленточном прессе довольно сложен. Он зависит от ее свойств — влажности, пластической прочности, внутреннего трения, а также от внешнего трения, давления, создаваемого шнеком, и противодавления выходных насадок — головки и мундштука. По сечению головки масса движется с неодинаковой скоростью. Общий характер фронта движения массы в цилиндрических и конических частях ленточного пресса изображен на рис. 48 [41]. Распределение скоростей отдельных концентрических слоев бруса, выходящего из пресса, имеет параболический характер.

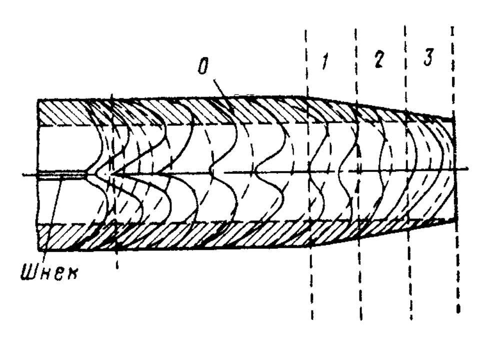


Рис. 48. Схема процесса деформации пластичной глиняной массы в формующей части ленточного пресса

0 — прямое звено (головка); *1, 2, 3* — конусные насадки с одинаковым углом наклона стенок. Сплошной линией показано распределение массы шнеком, пунктиром — развитие фронта движения массы по формующему каналу

Вследствие неодинаковых скоростей движения массы между ее концентрическими слоями возникают напряжения сдвига — отдельные слои как бы стремятся скользить относительно друг друга. Эти напряжения являются источником возникновения различных дефектов в сформованных изделиях. Поэтому подбор свойств формуемой массы и конструирование рабочих органов пресса подчиняются прежде всего главнейшей задаче — получить брус по возможности свободный от сдвиговых напряжений и уж во всяком случае с минимальной их величиной, безопасной для качества сформованных изделий.

Стремление отдельных частей бруса двигаться с различными скоростями проверяется в производственных условиях таким элементарным приемом: изготавливают рамку из уголковой стали (рис. 49, *а*) с пятью натянутыми струнами, укрепляют ее к мундштуку ленточного пресса и включают пресс. Выходящий из него брус будет разрезаться струнами рамки на пять лент. Если бы все части бруса двигались с одинаковой скоростью, то длина всех лент была бы одинаковой. В действительности наблюдается

опережение средней ленты и постепенное снижение скоростей лент по направлению от оси пресса к периферии. Это указывает на наличие в движущейся массе сдвиговых напряжений, сохраняющихся в выходящем брусе. Если бы брус был разрезан на большое число лент, то очертание их выходных концов образовало бы параболическую линию, как это показано пунктиром на рис. 49, *б*.

Вторая особенность движения керамической массы в ленточных прессах заключается в том, что в осевом направлении она не является сплошной. Опыты с попеременной загрузкой в пресс

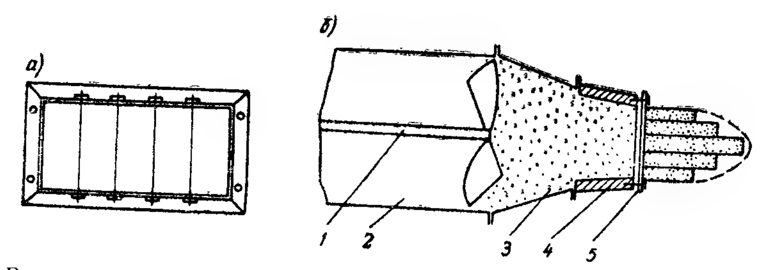


Рис. 49. Проверка скорости выхода разрезанного бруса из мундштука ленточного пресса

а — рамка для разрезки бруса; *б* — движение лент разрезанного бруса при его выходе из мундштука пресса: *1* — шнековый вал; *2* — корпус пресса; *3* — головка; *4* — мундштук; *5* — струнная рамка

разноцветных глин и последующим раскрытием пресса показывают, что структура массы в прессе представляет собой последовательное напластование полых конусов, вложенных друг в друга. Такая структура является следствием пульсации в подаче массы прессом, несмотря на то, что в принципе он является машиной непрерывного действия. Недостаточно прочное срастание поверхностей раздела между напластованиями является вторым источником специфических пороков сформованных изделий.

Для получения высокого качества изделий ленточного формования необходимо прежде всего в возможной мере ослабить действие причин (полностью устранить их нельзя), вызывающих возникновение специфических пороков формования; затем следует регулировать свойства керамической массы так, чтобы она была малочувствительной к возникающим напряжениям. И, наконец, необходимо, чтобы масса обладала возможно большим сцеплением и способностью быстро устранять разрывы, образующиеся при ее формовании.

Сдвиговые напряжения и срыв слоев возрастают с увеличением давления, которое вызывает течение массы $P_т$, с увеличением отношений $c:f$ и $P_т:\sigma$, где c — связность (сцепление), f — коэффициент внутреннего трения и σ — предел прочности при сдвиге.

В массе при формовании на ленточном прессе не происходит срыва сплошности (срыва слоев) [42] при

$$P_т = (0,2 - 0,8)\,0,1 Мн/м^2; \quad \frac{P_т}{\sigma} = (0,9 - 1,9)\,0,1 Мн/м^2;$$

$$\frac{c}{f} = 0,02 - 0,47.$$

Увеличение влажности массы сопровождается уменьшением ее связности. В то же время оно понижает давление истечения массы (рис. 50) и увеличивает ее липкость, т. е. способность восстанавливать нарушенную сплошность, благодаря чему в итоге повышение влажности снижает склонность массы к нарушению ее сплошности. Из рис. 50 видно, что даже небольшое уменьшение влажности приводит к большим перегрузкам прессов, чем и объясняются их аварийные поломки при внезапном уменьшении влажности массы.

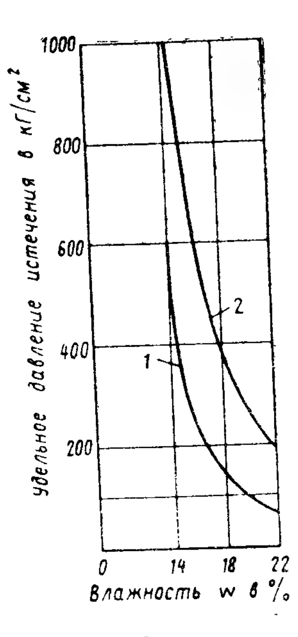


Рис. 50. Зависимость удельного давления истечения керамической массы через сопло диаметром 20 *мм* от ее влажности

1 — кембрийская глина 70% + шамот 30%; *2* — часов-ярская глина 70% + + шамот 30%

Добавление мелкозернистого песка уменьшает связность и повышает склонность массы к срыву сплошности. Отощение масс крупнозернистым песком или шамотом увеличивает коэффициент внутреннего трения. Крупные зерна отощителя как бы «сшивают» отдельные слои массы, мешая им проскальзывать друг относительно друга, и тем самым понижают склонность массы к разрыву сплошности. Паровое увлажнение повышает способность массы восстанавливать нарушенную сплошность и потому уменьшает вероятность выхода из пресса изделий с нарушенной сплошностью.

Уменьшение внешнего трения понижает крутизну параболы скоростей (снижает неравномерность выхода массы из пресса), сдвиговые напряжения в массе и вероятность возникновения в ней разрывов. Уменьшения внешнего трения можно добиться введением в массу поверхностно-активных веществ [43]. В частности, для лёссовидных глин рекомендуется добавка гуза-пай, которая является промышленным отходом.

Вакуумирование не во всех случаях оказывает одинаковое влияние на предотвращение срыва сплошности керамической массы. Оно повышает связность и тем самым способствует пре-

дотвращению срыва слоев, но в то же время вакуумированные слои массы, если их сплошность уже нарушена, обладают очень низкой способностью восстанавливать свою сплошность до выхода из мундштука пресса (обладают очень малой липкостью).

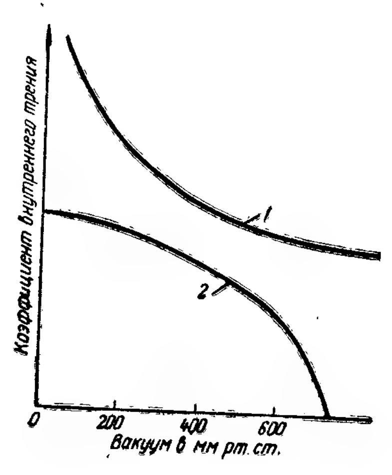


Рис. 51. Схема изменения коэффициента внутреннего трения при вакуумировании глин тощих (*1*) и высокопластичных (*2*)

Поэтому в практике вакуумного формования на ленточных прессах наблюдаются случаи, когда срыв сплошности исчезает при глубоком вакуумировании (730—750 *мм рт. ст.*), но слабое вакуумирование (500—600 *мм рт. ст.*) повышает склонность массы к срыву сплошности; в то же время для некоторых высокопластичных глин снижение вакуума с 730—750 до 600—620 *мм рт. ст.* ликвидировало разрыв сплошности, имевшийся при глубоком вакууме. Возможно, что такое отклонение объясняется неодинаковым характером изменения коэффициента внутреннего трения у высокопластичных и тощих глин. При глубоком вакууме у высокопластичных глин резко снижается коэффициент внутреннего трения (рис. 51), в то время как заполированные слои таких глин обладают очень низкой липкостью. В итоге склонность таких глин к срыву сплошности возрастает.

На качество изделий ленточного формования и на технико-экономические показатели ленточных прессов оказывают влияние параметры рабочих органов ленточного пресса. Рекомендуемые параметры шнека для глин различных типов приведены в табл. 12.

Таблица 12

Параметры шнека для глин различных типов

Параметры шнека	Трудноуплотняемые низкопластичные глины	Легкодеформируемые высокопластичные глины
Тип шнекового набора	Разрывной	Непрерывный
Шаг лопастей	Небольшой	3,5—4,5 витка на длину шнека
Наклон лопастей вперед под углом	Менее 28°	28—30°

Увеличение числа оборотов шнека свыше 32 в 1 *мин* может вызвать у пластичных глин срыв сплошности. Для каждой массы

существует оптимальное число оборотов [44], при котором пресс имеет наибольшую производительность при наименьшем удельном расходе мощности (рис. 52).

Для корпуса пресса рекомендуется соотношение

$$2 \leqslant \frac{F_ц}{F_и} \leqslant 6,$$

где $F_ц$ и $F_и$ соответственно площадь поперечного сечения корпуса и формуемого изделия.

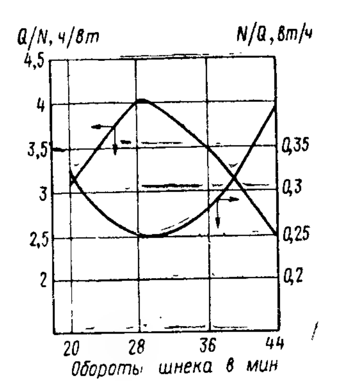


Рис. 52. Влияние числа оборотов шнекового вала на удельные производительность Q/N и расход энергии N/Q ленточного пресса

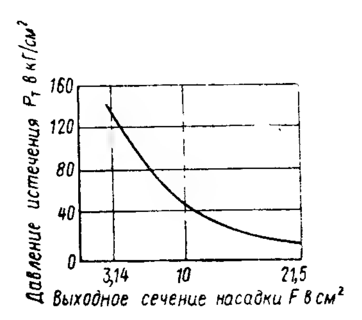


Рис. 53. Зависимость удельного давления истечения от выходной насадки ленточного пресса

При уменьшении выходного сечения насадки резко возрастает давление истечения (рис. 53) [45] с вытекающей отсюда опасностью нарушения сплошности.

На производительность пресса оказывает большое влияние характер внутренней поверхности корпуса. Исследования А. П. Ильевича [44] показали, что при гладкой внутренней поверхности корпуса производительность пресса резко падает вследствие сильного вращения массы вместе со шнеком внутри корпуса, а при очень пластичных глинах выход ее вообще прекращается. Лучшим оформлением внутренней поверхности корпуса является шлицевое рифление глубиной 1—2 *мм*, которое предохраняет наружные слои массы от проворачивания и не мешает ее продольному перемещению. Зазор между лопастями шнека и внутренней поверхностью корпуса не должен превышать 3 *мм*. Увеличение его приводит к интенсивному обратному движению массы, большим потерям энергии на трение (корпус пресса и масса нагреваются) и к падению его производительности.

Длина головки $L_г$ должна находиться в пределах $L_г = 150 \div 300$ *мм*. Плоские головки с $L_г = 50$ *мм* пригодны только для формования глин, не склонных к нарушению сплошности.

М. Д. Абрамович показал, что изменением длины головки можно в широких пределах регулировать характер параболы ско-

ростей формуемой массы и, следовательно, ее склонность к нарушению сплошности. На рис. 54 показано влияние усилий, передаваемых шнеком на массу и длины головки, на распределение

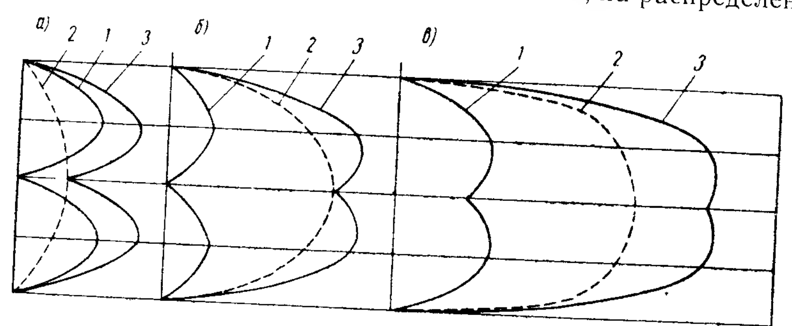


Рис. 54. Схема распределения скоростей при течении массы в головке ленточного пресса

а — короткая головка; *б* — длинная головка; *в* — головка оптимальной длины и конусности; *1* — кривая скоростей, являющаяся следствием влияния усилий, создаваемых шнеком; *2* — кривая скоростей, являющаяся следствием влияния длины головки; *3* — результативная кривая скоростей

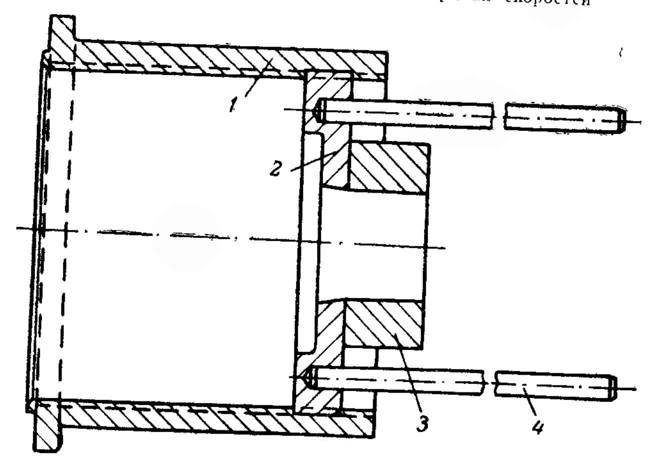


Рис. 56. Цилиндрическая головка регулируемой длины к ленточному прессу

1 — корпус; *2* — мундштучная плита; *3* — мундштук; *4* — стержень

скоростей движущейся массы. При короткой головке (рис. 54, *а*) превалирующим фактором является влияние шнека, и масса выходит из пресса с опережением скоростей между центром и периферией формуемого изделия. При длинной головке (рис. 54, *б*) преобладающее влияние будет оказывать внешнее трение и опережение скорости возникает в центре изделия. Наилучшие результаты получаются тогда, когда длина и конусность головки

обеспечивают распределение скоростей по схеме рис. 54, *в*. В этом случае парабола скоростей выходящей из мундштука массы имеет как бы плоскую вершину, обеспечивающую минимальный перепад скоростей почти по всему сечению формуемого изделия.

Для возможности установления оптимальной длины головки в условиях эксплуатации ленточного пресса М. Д. Абрамович рекомендует применять прессы с цилиндрическими головками регулируемой длины (рис. 55), а длину ее активной части подбирать заменой мундштучной плиты перфорированной плитой, показанной на рис. 56.

Рис. 56. Схема распределения скоростей при течении керамической массы в цилиндрической головке ленточного пресса в зависимости от положения перфорированной плиты

а — перфорированная плита; *б* — эпюры 1—5 скоростей при различной длине активной части головки; *в* — развертки эпюр распределения скоростей

При расчете размеров мундштука помимо усадки необходимо учитывать упругое расширение изделия при выходе из мундштука, составляющее примерно 1%.

Конусность насадок (головки и мундштука) увеличивает давление истечения, что видно из рис. 57 [46]. Для пластичных масс конусность мундштука должна быть 10—15%.

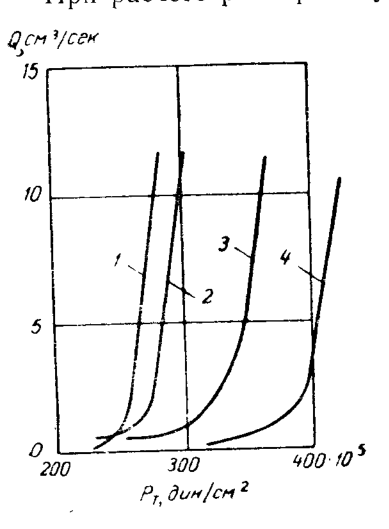


Рис. 57. Зависимость давления истечения от величины конусности насадки

1 — конусность 5%; *2* — конусность 8%; *3* — конусность 11%; *4* — конусность 15%

Вакуумные прессы бывают одновальные и двухвальные. Одновальные прессы компактны, но двухвальные более доступны для ремонта и осмотра и потому работают более надежно.

Устойчивость вакуума зависит от мощности и надежной работы вакуум-насосов. Последние значительно ухудшают свою работу при повышении температуры отсасываемого воздуха до 30—40° С, а также при уносе с

воздухом мельчайших частиц глины, вызывающих быстрый износ рабочих частей насоса. Поэтому для обеспечения устойчивой работы вакуум-насоса (особенно при пароувлажненной глине) необходимо в схему вакуумной установки включать фильтры и холодильники. Некоторые заводы добились существенного улучшения работы вакуум-насосов заменой серийных масляных фильтров барботажного типа решетчатыми и керамическими фильтрами.

Решетчатый фильтр (рис. 58) имеет входную камеру *1* объемом 42 000 $см^3$ и трубчатую камеру *2* объемом 79 000 $см^3$ со съемной крышкой *3*, заполненную сменной кассетой из 500 металлических колец длиной и диаметром по 10 *мм* и с

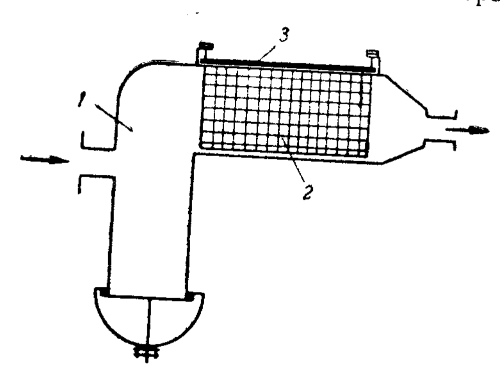


Рис. 58. Решетчатый фильтр к ленточному вакуум-прессу

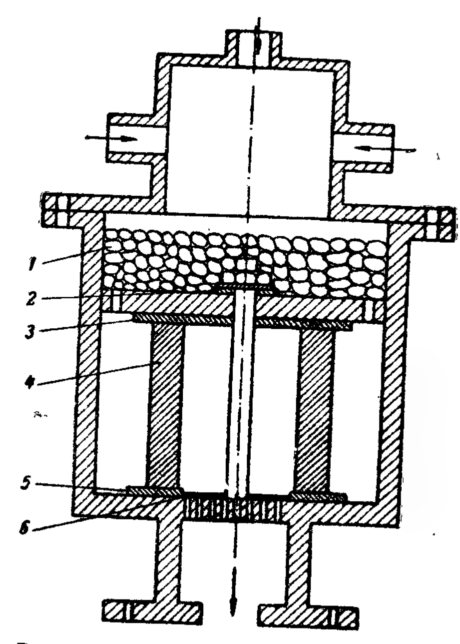


Рис. 59. Схема керамического фильтра к ленточному вакуум-прессу

1 — стальная стружка; *2*, *3* и *5* — резиновые прокладки; *4* — труба из микропористой керамики; *6* — латунная сетка

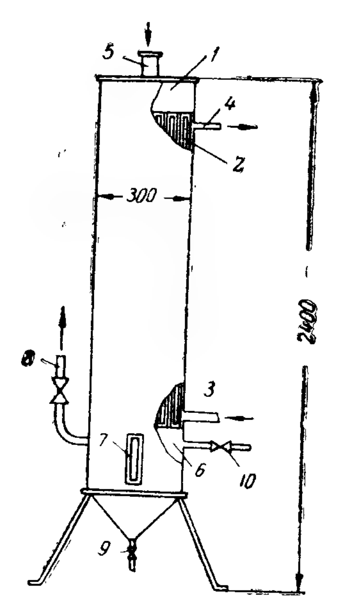


Рис. 60. Холодильник к вакуум-насосу ленточного пресса

толщиной стенок 0,5 *мм*. Общая площадь их поверхности превышает 3 $м^2$. Кассету с кольцами перед установкой в фильтр покрывают слоем масла. Воздух, омывая поверхность колец, очищается от механических уносов. Схема керамического фильтра приведена на рис. 59.

Холодильник (рис. 60) [47] представляет собой цилиндрический резервуар *1* с двумя фланцами, в которые вварены 66 трубок *2* диаметром 12,5 *мм*. Внешняя их поверхность омывается проточной холодной водой, поступающей снизу через патрубок *3* и выходящей вверху через патрубок *4*; диаметр патрубков 25 *мм*. В крышке холодильника имеется патрубок *5* для присоединения к вакуум-камере пресса. Нижняя полость *6* холодильника образует камеру для сбора конденсата. Она снабжена водомерным стеклом *7*, патрубком *8* для присоединения к вакуум-насосу, патрубком и вентилем *9* для периодического удаления конденсата из камеры и патрубком с вентилем *10* для промывки камеры. При прохождении воздуха через внутренние полости трубок в нем конденсируются водяные пары, а вместе с конденсатом увлекаются в камеру осаждения и уносы частиц глины. Таким образом, через патрубок *8* к вакуум-насосу поступает охлажденный, осушенный и очищенный воздух, что существенно улучшает работу вакуум-насоса. Количество осаждающегося конденсата составляет 50—120 *кг/ч*.

Срыв вакуума может происходить вследствие неравномерного питания пресса глиной, неполной загрузки глиномялки двухвальных вакуум-прессов и непостоянства влажности глины, которая должна составлять 0,8—0,85 нормальной формовочной влажности $w_ф$. Превышение необходимой влажности приводит к переполнению вакуум-камеры глиной, а чрезмерно пониженная влажность — к запрессовке глины.

§ 2. ШТАМПОВКА ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ МАСС

Этот способ называют также прессформовкой и применяют при производстве черепицы, электроизоляторов, капселей и некоторых других керамических изделий. Штамповать изделия из пластичной массы можно в гипсовых и металлических формах, укладывая в них предварительно изготовленные заготовки (валюшки, пласты).

При изготовлении изделий плитного типа с рельефной поверхностью, например черепицы, применяют салазочные и револьверные прессы. Полые изделия, не являющиеся телами вращения, например капсели, формуют на фрикционных прессах, а объемные фасонные изделия — на рычажных, чаще одногнездных прессах.

Энергию, расходуемую на уплотнение прессуемой пластичной массы $A_{пр}$, можно определить по формуле М. Я. Сапожникова [48]

$$A_{пр} = 0{,}81\ P^2 \beta V_0\ кг \cdot м, \qquad (21)$$

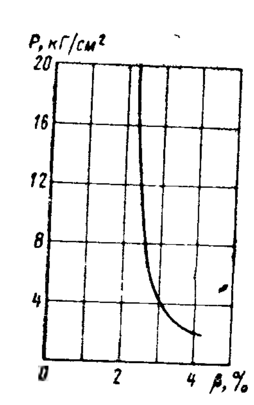


Рис. 61. График для определения величины β при расчете расхода энергии на прессование пластичных масс

где P — удельное прессовое давление в $кГ/см^2$; β — фактор, зависящий от свойств глиняной массы (определяется по графику рис. 61), в %; V_0 — начальный объем прессуемой глиняной массы в $м^3$.

§ 3. ФОРМОВАНИЕ ВЫТАЧИВАНИЕМ ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ МАСС

Изделия, имеющие форму тел вращения (фарфоровые и фаянсовые изделия хозяйственного назначения, некоторые типы изоляторов), формуют на станках с вращающимся столом и шпинделями с шаблонами. Этот метод может быть условно назван вытачиванием. Прообразом станков для такого вытачивания является простейший гончарный круг, стол которого формовщик вращал ногами, а необходимую конфигурацию изделию придавал руками, пользуясь при этом ручным инструментом. В настоящее время по этому принципу работают полуавтоматические высокопроизводительные станки, которые составляют основу современных автоматических линий по формованию и сушке многих видов фаянсовых и фарфоровых изделий.

Основными рабочими органами современных полуавтоматов для формования плоских и полых изделий вытачиванием являются нижний вращающийся шпиндель и верхняя головка с укрепленными на ней формующими органами. При формовании, например тарелок, на нижний вращающийся шпиндель устанавливается гипсовая форма, на которую укладывается пласт керамической массы. Подъемом вращающегося шпинделя пласт подводится под шаблоны, укрепленные на верхней головке станка, которые его обжимают и «разводят» до конечной конфигурации. При этом внутреннюю конфигурацию тарелки оформляет поверхность гипсовой формы (по которой пласт обжимается шаблонами), а наружную оформляют шаблоны.

При формовании глубоких изделий, например чашек, на нижний шпиндель устанавливается гипсовая форма и в нее закладывается заготовка керамической массы. Опусканием верхней головки шаблоны (в виде роликов) вводятся внутрь формы и разводят заготовку, прижимая ее к внутренней поверхности формы. В этом случае внутреннюю конфигурацию изделия оформляют шаблоны, а наружную — внутренняя поверхность гипсовой формы. Ролики в настоящее время делают из фторопласта или полиэтилена.

Максимально число оборотов n шпинделя в 1 *мин* можно определять по формуле

$$n = 600\sqrt{\frac{R_p}{D\gamma}},$$

где D — наружный диаметр изделия тарелки (или гипсовой формы при формовании чашек) в *см*; R_p — предел прочности массы при разрыве в $кГ/см^2$. (Для фарфоровой массы с влажностью 23% $R_p = 0{,}3$ $кГ/см^2$. При формовании чашек в формулу подставляют значение R_p для гипсовой формы); γ — объемный вес фарфоровой массы в $г/см^3$; $\gamma = 1{,}9$ $г/см^3$.

§ 4. ЛЕПКА

Лепкой именуют ручное формование изделий из пластичных масс в гипсовых формах. Этот процесс трудоемок и примитивен и потому применяется только при изготовлении изделий особо сложной конфигурации, уникальных и малотиражного ассортимента.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ
ПРЕССОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВ

Способ прессования изделий из порошкообразных масс именуют также полусухим и сухим прессованием, хотя ни один из этих терминов не отличается научной строгостью. Тем не менее пользование последним термином («сухое прессование») представляет определенные удобства в силу его краткости, почему и мы им будем пользоваться в дальнейшем изложении, понимая условно под «сухим прессованием» прессование изделий из порошкообразных масс.

Изделия, спрессованные из порошков, обладают в сырце большой прочностью, точностью размеров и конфигурации, почти не дают усадки при сушке и имеют пониженную усадку в обжиге. Механизировать транспортирование сыпучих материалов проще, чем пластичных, а высокая прочность спрессованных изделий создает также большие удобства и для их межоперационного транспорта. Благодаря этим достоинствам сухое прессование получило распространение в производстве многих видов керамических изделий и область его применения продолжает расширяться. Способ сухого прессования особенно широко применяется для изготовления плоских тонкостенных изделий, где он занял почти монопольное положение. В последнее время ведутся успешные опыты по его применению для прессования тонкостенных изделий более сложной конфигурации — труб и умывальных столов. Как будет рассмотрено ниже, с увеличением толщины изделий трудности применения этого способа сильно возрастают.

§ 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СУХОГО ПРЕССОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Теория сухого прессования изучает закономерности, определяющие свойства спрессованного сырца («прессовок») в зависимости от свойств прессовочного порошка и условий его прессования.

1. Изменения, происходящие в порошкообразной системе при ее прессовании

Керамические порошки представляют собой трехфазную систему, состоящую из твердой минеральной части, жидкой фазы (воды) и воздуха. Система является трехфазной при условии [49]

$$\frac{V_0}{g_c} > U + 0{,}385, \qquad (22)$$

где V_0 — объем образца влажной глины; g_c — вес сухой части керамической массы; U — весовое влагосодержание керамической массы.

Напомним, что

$$U = \frac{g_в}{g_c},$$

где $g_в$ — вес воды, содержащейся в глине.

При

$$\frac{V_0}{g_c} = U + 0{,}385 \qquad (23)$$

система является двухфазной — воздух в глине отсутствует. Пористость порошка (или обратное понятие — плотность укладки зерен) зависит от соотношения в порошке частиц различной величины. Для расчета гранулометрического состава порошка, имеющего наибольшую плотность, можно пользоваться уравнением Фуллера

$$A = 100\sqrt{\frac{d}{D}}, \qquad (24)$$

где A — содержание в % фракции меньше данного размера частицы; D — максимальный размер частиц в порошке; d — диаметры частиц порошка.

Задавшись размером наиболее крупных частиц, по этому уравнению можно определить количества частиц разных фракций, обеспечивающих наибольшую плотность укладки. На рис. 62 при-

Таблица 13

Гранулометрический состав порошка, обеспечивающий наибольшую плотность прессовки

Авторы	Содержание в % частиц размером в *мм*							
	5—4	4—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	менее 0,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Литцов	10	12	11	11	12	11	16	17
Полубояринов	16	17	17	—	—	17	17	16
	14	13	13	5	5	17	17	16
	16	17	17	5	5	14	13	13
Скола	—	22,5	21	11	12,5	11	10	12
Фуллер	—	20	19	20	12	11	6	12

ведена кривая, построенная по этому уравнению для максимального размера частиц 3 *мм*. В табл. 13 приведены данные различных авторов о гранулометрическом составе порошка, обеспечивающем наибольшую плотность прессовки.

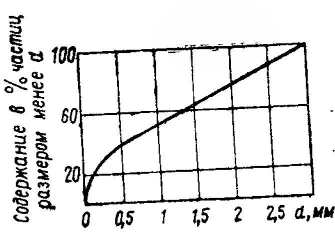


Рис. 62. Гранулометрический состав порошка, рассчитанный по уравнению Фуллера

Для получения высокоплотного спрессованного полуфабриката из непластичных грубозернистых масс необходимо применять порошки прерывной гранулометрии преимущественно двухфракционного состава [50]. Иногда целесообразно использовать порошки типа монофракционных с выбором конечного давления, обеспечивающего полное устранение расположенных между частицами свободных промежутков вследствие пластической деформации частиц.

Начало прессования керамического порошка сопровождается его уплотнением за счет смещения частиц относительно друг друга и их сближения. При этом происходит частичное удаление воздуха из системы.

Следующая стадия уплотнения характеризуется пластической необратимой деформацией частиц с увеличением контактной поверхности между частицами. Одновременно с этим уплотнение каждой элементарной частицы сопровождается выжиманием влаги из ее глубинных слоев на контактную поверхность частицы. Оба эти фактора обусловливают возрастание сцепления между частицами. Вода вместе с содержащимися в ней глинистыми коллоидами склеивает крупные частицы прессовки, а с увеличением контактной поверхности возрастает эффект такой

цементации. В этой стадии уплотнения может быть защемление и упругое сжатие воздуха, который не успел удалиться из порошка.

В третьей стадии уплотнения наступает упругая деформация частиц. Такие деформации наиболее вероятны для тонких удлиненных частиц в виде игл и пластинок, которые могут изгибаться по схеме зажатой консоли или балки, опертой на две опоры.

Последняя стадия уплотнения сопровождается хрупким разрушением частиц, при котором прессовка получает наибольшее уплотнение и наибольшее сцепление вследствие сильного дальнейшего развития контактной поверхности. Для осуществления хрупких деформаций требуются очень большие давления, которые при сухом прессовании большинства керамических изделий практически не достигаются. Хрупкое разрушение носит в подавляющем большинстве случаев поверхностный характер и не означает массового раздавливания зерен [50].

После прекращения действия прессующего усилия и освобождения изделия из формы происходит его упругое расширение, которое в отдельных случаях достигает 8%. Упругое расширение не дает возможности получать прессовки с максимальной плотностью и является причиной образования других пороков изделий, спрессованных из порошкообразных масс.

2. Основные понятия и закономерности режимов прессования

Суммарный эффект уплотнения характеризуется коэффициентом сжатия $K_{сж}$:

$$K_{сж} = \frac{H}{h}, \quad (25)$$

где H — высота засыпки порошка в форму пресса; h — высота полученной прессовки.

Коэффициент сжатия и объемный вес прессовки связаны соотношением

$$\gamma_п = \gamma_н K_{сж}, \quad (26)$$

где $\gamma_п$ и $\gamma_н$ — соответственно объемный вес прессовки в куске и насыпной вес порошка.

Зависимость коэффициента сжатия от величины прессового давления P описывается уравнением [51]

$$A \lg P = K_{сж}^m, \quad (27)$$

где A и m — экспериментально определяемые коэффициенты.

Разница между высотой засыпанного в форму порошка и высотой полученной прессовки называется «осадкой» (рис. 63).

Графическая зависимость между осадкой и удельным давлением прессования называется компрессионной кривой. Она является основной характеристикой деформативных свойств (прессуемости) порошка. Компрессионные кривые некоторых порошков приведены на рис. 64 [48]; как видно, с увеличением удельного давления и влажности осадка возрастает. По мере возрастания давления осадка сначала интенсивно развивается, затем начинает затухать и при достижении некоторого давления, характерного для каждого порошка с данными свойствами, почти полностью прекращается. Это указывает на то, что для каждого порошка с присущими ему прессовочными свойствами существует определенное давление, превышать которое не имеет смысла, так как за его пределами дальнейшего уплотнения прессовки почти не происходит.

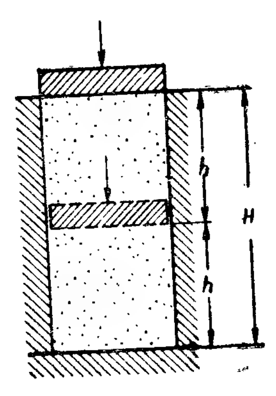


Рис. 63. Схема к определению понятия «осадки»

Зависимость между осадкой и давлением имеет вид [52]

$$P + A_0 = A_к \left(\frac{H}{H - h_0}\right)^n, \quad (28)$$

где A_0, $A_к$, n — параметры, определяемые экспериментально при конечных давлениях.

Зависимость истинной пористости $П_и$ прессовки от величины удельного давления прессования P выражается уравнением А. С. Бережного [53]

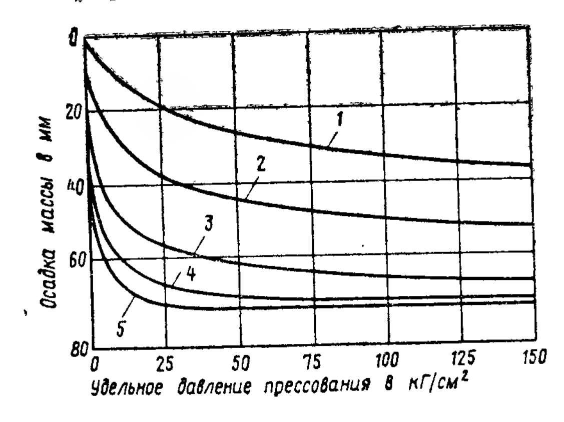


Рис. 64. Зависимость между осадкой и удельным давлением прессования глиняного порошка при его влажности в %

1 — 0,004; 2 — 8,1; 3 — 11,15; 4 — 13.25; 5 — 15,95

8—27

$$П_и = a - b \lg P, \quad (29)$$

где a и b — параметры, определяемые из опыта.

Кривые, построенные по этому уравнению, имеют характер, аналогичный характеру кривых на рис. 64. Для шамотных масс такая кривая показана на рис. 65 [54].

Связь между удельным давлением прессования и объемным весом прессовки в пределах давлений $P=40 \div 200$ $кГ/см^2$ выражается формулой

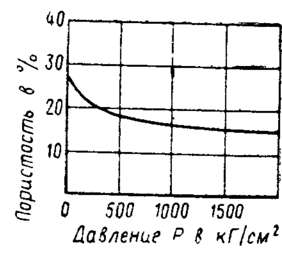


Рис. 65. Изменение истинной пористости при прессовании шамотных масс в зависимости от прессового давления

$$P = P_0 + A = A\left(\frac{\gamma_п}{\gamma_н}\right)^n. \quad (30)$$

Пользуясь этим уравнением, можно рассчитать давление, которое необходимо приложить для того, чтобы получить прессовку заданного объемного веса. Эти же уравнения можно использовать и для другой цели: разрезав послойно прессовку и определив объемный вес каждого слоя, можно рассчитать, какое давление прессования действовало в каждом слое, т. е. насколько равномерно распределялось прессовое давление по толщине прессовки.

Прессовое давление, приложенное к штампу, затухает в направлении толщины изделия. Закон распределения давления по толщине прессуемого изделия выражается уравнением П. П. Баландина:

$$P_H = P_0 e^{-k\frac{H}{R}}, \quad (31)$$

где P_H — давление на расстоянии H от пуансона; P_0 — давление у пуансона; R — гидравлический радиус прессовки; (напомним, что $R = \frac{2F}{П_р}$, где F — площадь поперечного сечения прессовки; $П_р$ — периметр поперечного сечения прессовки); k — коэффициент, зависящий от внутреннего трения в массе и ее трения о стенки прессформы.

Анализ этого уравнения выявляет, что неравномерность давлений по толщине прессовки возрастает с увеличением H и уменьшается с увеличением R.

Физический смысл явления затухания приложенного давления заключается в том, что на сжатие каждого элементарного слоя прессовки расходуется неодинаковое количество энергии. Следствием этого является неравноплотность прессовки по ее толщине. Закон изменения плотности по толщине прессовки выражается уравнениями Р. Я. Попильского [55]:

$$П_H = П_0 + c_р \frac{H}{R}; \quad (32)$$

$$\gamma_H = \gamma_0 - c_1 \frac{H}{R}, \quad (33)$$

где $П_0$ — пористость прессовки непосредственно под штампом; $П_H$ — пористость прессовки на глубине H от штампа; R — гидравлический радиус; γ_0, γ_H — объемные веса прессовки соответственно непосредственно под штампом и на глубине H от штампа; $c_р$, c_1 — опытные коэффициенты ($c_р$ назван «коэффициентом пропрессовываемости»).

Было установлено, что при членении прессовки на семь слоев падение объемного веса ΔV наиболее удаленного седьмого слоя по отношению к первому составило в зависимости от влажности порошка w:

w в %	ΔV в %
14—16	0,3
10	1,5
6	2,3

Неравноплотность прессовки по ее толщине вследствие затухания приложенного давления усугубляется влиянием бокового трения. Последнее зависит от коэффициента бокового давления $K_б$ и от коэффициента трения $K_т$. Коэффициент бокового давления является отношением бокового давления к давлению прессования. Величина этого коэффициента зависит от физических свойств прессуемого порошка, что определяется уравнением

$$K_б = K_0 w + C, \quad (34)$$

где w — влажность прессуемого порошка в %; K_0, C — параметры уравнения, характеризующие зерновой состав и способ сжатия. Для одной из глин опытом было определено $K_0 = 0{,}021$ и $C = 0{,}26$.

Коэффициент трения прессовки о стенки формы $K_т$ связан с прессовым давлением и влажностью порошка следующим уравнением:

$$\lg K_т = \frac{I - w - x \lg P}{7{,}78 x w^{0,38}}, \quad (35)$$

где x и I — параметры уравнения, определяемые опытом; w — влажность; P — прессовое давление.

Наличие бокового трения обусловливает неравноплотность прессовки не только по ее толщине, но и по поверхности. Об этом, в частности, свидетельствуют опытные данные, приведенные в табл. 14. (Обозначения: $P_к$ — давление по контуру прессовки; $P_с$ — давление в средней ее части; P — прессовое давление.)

Таблица 14

Распределение давлений по поверхности прессовки

Влажность порошка в %	Отношение давлений на поверхности сырца, обращенной к			
	штампу		дну формы	
	$P_к/P_с$	$P_к/P$	$P_к/P_с$	$P_к/P$
6	1,3	1,2	0,82	0,55—0,65
10	1,2	1,15	0,85	0,65—0,7
14	1,05	1,04	0,88	0,7—0,8

Эти данные указывают на то, что в середине прессовка испытывает большее давление, чем в своих периферийных частях, которые остаются (относительно) недопрессованными.

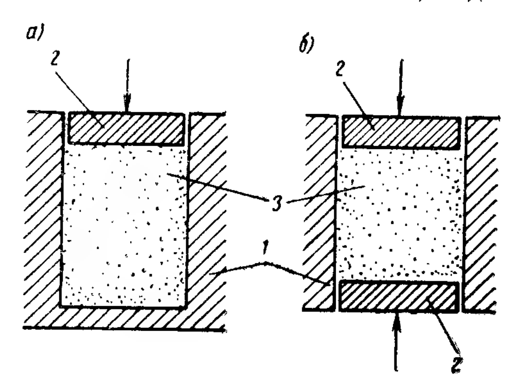


Рис. 66. Направленность прессования

а — одностороннее; *б* — двустороннее; *1* — формы; *2* — подвижные штампы; *3* — прессуемый порошок

Перепады давления и плотности по толщине прессовки могут быть снижены пластификацией порошков, повышением их влажности (технологической связки), введением поверхностно-активных добавок, смазыванием и подогревом прессформы. Это же снижает неравномерность в горизонтальных направлениях.

На равноплотность прессовки очень большое влияние оказывает режим прессования. По направленности прессовых усилий различают прессование одностороненее (рис. 66, *а*) и двустороннее (рис. 66, *б*), по кратности приложения прессовых усилий — однократное и многократное прессование, по интенсивности приложения прессовых усилий — ударное и плавное прессование.

Двустороннее прессование, как это вытекает из предыдущих уравнений, уменьшает степень неравноплотности прессовки, поскольку путь необходимого перемещения штампа, т. е. величина *H*, в уравнении (31) сокращается вдвое. Поэтому в современных прессах применяют двустороннее прессование даже при формовании сравнительно тонких изделий.

На рис. 66, *б* двустороннее прессование осуществляется при помощи двух подвижных штампов. Но двустороннее прессование может осуществляться при одном подвижном штампе и плавающей (свободноподвижной) форме, как это показано на рис. 67. В этом случае нижний штамп является неподвижным, а форма *1* может перемещаться относительно штампов, для которой они являются направляющими. Двустороннее прессование при такой схеме обусловлено следующими явлениями. В начальный момент перемещения верхнего штампа начнет уплотняться зона *А*. Когда ее боковое давление превысит сопротивление порошка сжатию в зоне *Б*, форма вместе с верхним штампом *2* начнет перемещаться вниз относительно штампа *1* и начнет уплотняться зона *Б*. В этой стадии прессования верхний штамп и форма составляют как бы единое целое. Когда зона *Б* уплотнится настолько, что ее боковое давление превысит боковое давление в зоне *А*, то снова начнет перемещаться верхний штамп, но уже без формы, углубляя зону уплотнения верхней части прессовки. Подобным образом циклы будут повторяться много раз в элементарно малые промежутки времени, пока прессовка не достигнет заданной толщины. При плавающей форме происходит как бы авторегулирование степени уплотнения каждой половины прессовки. Поэтому такой принцип прессования стал широко использоваться в последние годы при конструировании прессов для сухого прессования керамических изделий.

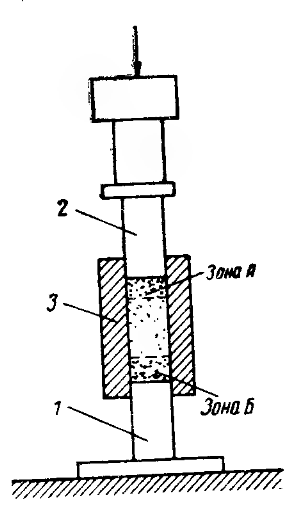


Рис. 67. Схема двустороннего прессования с плавающей (свободноподвижной) формой

1 — неподвижный штамп; *2* — подвижной штамп; *3* — плавающая (свободноподвижная) форма

При многократном (ступенчатом) прессовании чередуются стадии нагрузки, когда штамп давит на порошок, со стадиями разгрузки, когда штамп несколько приподнимается и прессовка освобождается от давления.

Эффективность многократного (ступенчатого) прессования сравнительно с однократным рассмотрим пользуясь рис. 68. На рисунке схематически изображена диаграмма нагрузок и разгрузок при ступенчатом прессовании. На первой ступени прессования осадка следует за увеличением давления по линии $A_1Б_1$. Максимальное прессующее давление составляет P_1. Затем нагрузка снимается и прессовка испытывает упругое расширение (упругое последействие), равное $h_у^I$ по линии $Б_1A_2$. Вторая ступень нагружения развивается по линии $A_2Б_2$, а разгрузка — по линии $Б_2A_3$. Величина упругого расширения составляет при этом $h_у^I$. Третья ступень нагружения соответствует линии $A_3Б_3$, а разгрузка — линии $Б_3A_4$. Упругое расширение на этой стадии разгрузки составляет $h_у^{III}$. Максимальное давление на всех ступе-

нях прессования сохраняется неизменным, равным P_1. Общая результативная осадка за все три стадии прессования составляет величину h_0.

Итак, при трехкратном прессовании при давлении P_1 мы получили суммарную осадку h_0. Если бы захотели такую же осадку получить однократным прессованием, то вынуждены были бы развивать процесс по линии $A_1Б_1^I$, доведя давление до P^I.

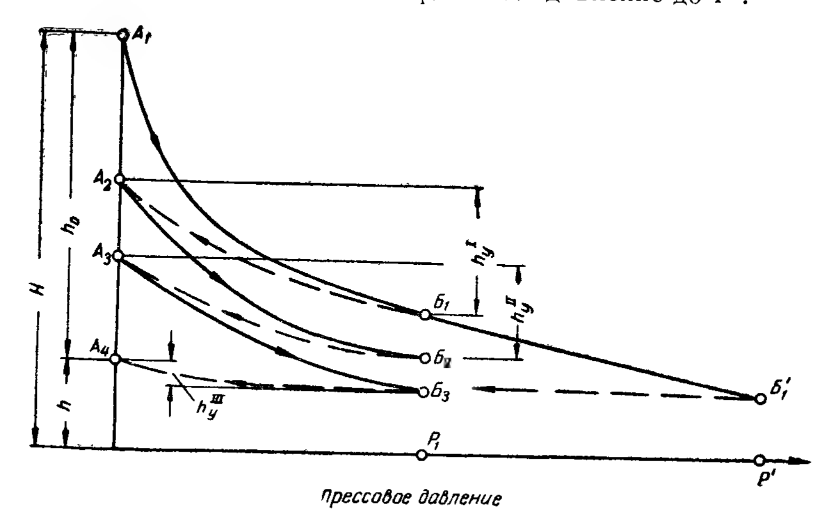


Рис. 68. Схема изменения осадок и упругого последействия при ступенчатом прессовании порошков

Таким образом, ступенчатое прессование дает возможность получить равную осадку при существенно меньшем конечном давлении. Преимущества этого очень велики: появляется возможность существенно облегчить вес пресса, упростить его конструкцию, а также снизить износ трущихся деталей. Второе не менее важное преимущество ступенчатого прессования заключается в том, что оно обусловливает меньшую неравноплотность прессовки. Из диаграммы рис. 68 также видно, что при ступенчатом прессовании снижается упругое последействие ($h_у^I > h_у^{II} > h_у^{III}$) и в пределе оно стремится к нулю, в то время как при однократном прессовании упругое последействие ухудшает качество прессовки. И, наконец, ступенчатое прессование обеспечивает возможность более полного удаления воздуха из прессовки в периоды ее разгрузок. По указанным причинам ступенчатое прессование является одним из непременных условий получения высококачественных изделий при формовании их способом сухого прессования.

Факторы, определяющие качество прессовки — ее равноплотность и упругое последействие, — в значительной степени зависят от длительности приложения прессующей нагрузки. Наихудшие результаты получаются при ударном прессовании, наилучшие — при плавном приложении нагрузки. При длительном действии прессующей нагрузки увеличивается плотность прессовки

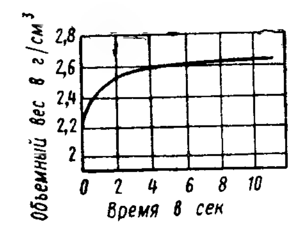


Рис. 69. Влияние длительности прессования на плотность прессовки шамотированного порошка

(рис. 69) [54], возрастает ее равноплотность, снижается упругое последействие и происходит наиболее полное удаление воздуха из прессуемого порошка.

§ 2. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПОРОКИ ИЗДЕЛИЙ, СПРЕССОВАННЫХ ИЗ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАСС

Для изделий, спрессованных из порошкообразных масс, характерными являются так называемые трещины расслаивания. Они возникают на боковых поверхностях прессовки в направлении, перпендикулярном направлению прессующего усилия (рис. 70), и обусловливают брак изделия. В производственном обиходе их возникновение объясняют обычно «перепрессовкой» изделия, т. е. чрезмерно большим прессовым давлением, которое, якобы, и является причиной их возникновения. Однако в действительности механизм их возникновения гораздо сложней, и поскольку они являются одним из наиболее существенных пороков в технологии сухого прессования, то раскрытию этого механизма, а следовательно, и разработке мероприятий, способных предотвратить их зарождение и развитие, посвящено много исследований.

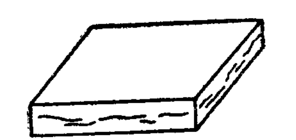


Рис. 70. Трещины расслаивания в изделиях сухого прессования

Непосредственной причиной возникновения трещин расслаивания является упругое расширение прессовки. Расширение является деформацией, а всякая деформация происходит в результате действия каких-то сил. Природа этих сил, возникающих в спрессованном изделии и вызывающих его упругое расширение, объясняется различными авторами по-разному. Чаще всего их возникновение объясняют упругим расширением запрессованного воздуха, упругим последействием деформированных при прессовании глинистых частиц и упругим сжатием формы, в которой прессуется изделие.

А. В. Ярошевский [56], В. И. Ценке [57] и некоторые другие авторы считали, что запрессованному воздуху приписывается незаслуженно большое значение в явлениях упругого расширения прессовки. В. И. Ценке [57] серией оригинальных опытов показал, что в действительности отдельные участки прессуемого изделия при одном и том же коэффициенте сжатия и одном и том же общем прессовом давлении получают неодинаковое уплотнение и стараются сместиться относительно друг друга. При этом в изделии возникает «барический рельеф», соответствующий различным давлениям и смещениям, которые испытывали отдельные участки изделия во время его прессования. Напряжения этих смещений и являются зародышами трещин расслаивания. Сущность барического рельефа и механизм его возникновения В. И. Ценке объясняется следующим образом.

Таблица 15

Влияние крупности зерен в порошке на его насыпной вес и сопротивление сдавливанию

Характеристика порошка	Насыпной вес в $г/см^3$	Сопротивление сжатию в $кГ/см^2$
Нефракционированный, содержащий в % зерен размером: 3 *мм* и более — 0,6; 2—3 *мм* — 4,4; 1—2 *мм* — 20; менее 1 *мм* — 75 . . .	1	20—25
Без зерен 3 *мм* и крупнее	0,95 -0,97	13—15
Без зерен крупнее 1 *мм*	0,8—0,85	8—10

При засыпке порошка в форму наблюдается его сегрегация – группировка по отдельным фракциям, в результате чего одни части формы оказываются заполненными крупным порошком, а другие — мелким. Насыпной вес порошка и сопротивление порошка сдавливанию при одном и том же $К_{сж}$ возрастают по мере укрупнения зерен в порошке. В опытах В. И. Ценке были получены данные, приведенные в табл. 15.

Поэтому для получения одной и той же плотности прессовки нужно увеличивать $К_{сж}$ по мере уменьшения крупности зерен в порошке. Если при заполнении прессформы порошок в ней сегрегируется, то для получения прессовки с одинаковой плотностью во всех ее частях надо было бы отдельные ее части прессовать с различными $К_{сж}$. В действительности этого не бывает, так как прессующие штампы сближаются параллельно. Практически отдельные участки прессовки уплотняются при неодинаковых давлениях и получаются с неодинаковой плотностью. Величины прессовых давлений для смежных участков сырца, случайно заполненных отделившимися крупными зернами и лежащих рядом с участками мелких зерен порошка, могут разниться на 40—50 $кГ/см^2$.

При таких условиях в прессуемом порошке в период сжатия в прессформе должен появиться резкий «барический рельеф» со своеобразно расположенными изобарами, ограничивающими разноуплотненные участки сырца. Под влиянием воспринятых от штампов различных в разных пунктах давлений внутри прессуемой массы должны происходить смещения, сдвиги массы, направленные от участков сильно сжатых к слабо сжатым, по преимуществу в направлениях, перпендикулярных направлению прессового давления.

Сдвиги облегчаются в том случае, если прессуемая масса более влажна и, следовательно, более подвижна. Эти сдвиги и должны давать начало разрывам сплошности в сырце по направлениям, параллельным постелям сырца, как это показано на рис. 70. В конечном счете это приводит к появлению так называемых трещин расслаивания.

Специальные опыты показали, что трещины расслаивания всегда появляются в зоне сырца, заполнявшейся мелкими фракциями порошка. Явление смещения порошка в прессформе при его прессовании от участков с крупными фракциями порошка к участкам с мелкими фракциями было подтверждено специальными опытами путем размещения в прессуемом порошке зондов — шариков из окрашенной глины.

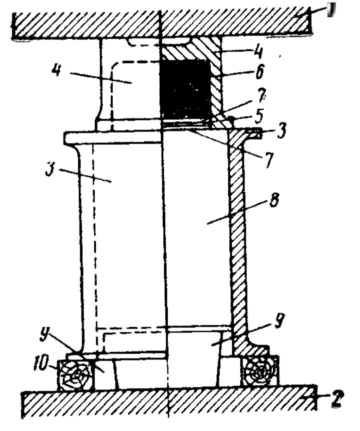


Рис. 71. Прибор для выявления барического рельефа при прессовании порошкообразных масс

1 и *2* — площадки гидропресса; *3* — цилиндрическая стальная форма; *4* — верхний штемпель с камерой для заполнения пластичной массой; *5* — резиновая диафрагма; *6* — глиняное тесто, заполняющее камеру верхнего штампа; *7* — два закладных стальных кольца; *8* — прессуемый порошок глины; *9* — нижний штемпель; *10* — дубовые подкладки-брусочки, поддерживающие форму до начала двустороннего прессования глиняного порошка

Существование барического рельефа В. И. Ценке наглядно доказал, используя прибор, изображенный на рис. 71. После засыпки порошка в форму незначительно сближают площадки гидропресса, чтобы между порошком и стенками формы возникло трение, способное удержать форму на весу. Затем снимают прессовое давление, удаляют брусочки-подкладки и допрессовывают порошок до необходимого предела. Верхний штамп представляет собой цилиндрическую стальную чашку. Нижняя кромка штампа на 1—2 *мм* выступает наружу и плотно приточена по цилиндрическому отверстию формы. По внутреннему отверстию верхнего штампа приточены два стальных кольца шириной 5 и толщиной 1,5 *мм*. Между кольцами закладывается тонкая резиновая мягкая и эластичная диафрагма толщиной 0,3—0,5 *мм*. Перед началом прессования камера верхнего штампа плотно за-

полняется глиняным тестом, так чтобы его выровненная поверхность не доходила на 5 *мм* до кромок камеры. Затем на глину укладывается первое стальное кольцо, которое вдавливается в глину в уровень с его поверхностью. На глину и кольцо накладывается и равномерно прижимается к глине резиновая диафрагма, прилипающая по всей поверхности. Поверх диафрагмы укладывается второе стальное кольцо со стороны прикосновения с диафрагмой; кольцо предварительно смазывается тавотом или вазелином. Затем устанавливается штамп и начинается прессование.

При применении верхнего штампа с камерой, заполненной тестообразной глиной, представляющей собой среду с гидравлическими свойствами, давление, передаваемое прессуемым порошком на диафрагму, будет равномерно распределяться гидравлической средой (мягким глиняным тестом) по всей прессуемой поверхности порошка. Так как порошок в разных точках поверхности имеет различное сопротивление сжатию, то, подвергаясь одинаковому по величине давлению со стороны диафрагмы, он будет сжиматься на различную величину. При этом поверхность прессовки все время будет рельефной и линии этого рельефа будут соответствовать изобарам, характеризующим сопротивление порошка сдавливанию. Получающаяся таким образом волнистая поверхность порошка, спрессованного под диафрагмой верхнего штампа, будет представлять почти точную картину возникающего при прессовании барического рельефа.

В соответствии с изложенными представлениями и результатами их производственной проверки для предотвращения трещин расслаивания рекомендуется применять порошки с возможно большей однородностью зерен по крупности и во всяком случае с удаленными наиболее крупными зернами, оказывающими наибольшее сопротивление сжатию.

С этими представлениями хорошо увязываются подмеченные практикой лучшие прессовочные свойства порошка, полученного в распылительных сушилках, характеризующегося пониженным содержанием пылевидной фракции.

Повышение влажностной однородности порошка также снижает его склонность к образованию трещин расслаивания, так как сопротивление порошка сжатию зависит не только от его гранулометрического состава, но и от его влажности.

Влияние барического рельефа на образование трещин расслаивания не исключает участия в их образовании и запрессованного воздуха. Не весь воздух, содержащийся в порошке, вытесняется из него при прессовании. Подавляющее большинство воздухопроводящих каналов в периферийной части прессовок закрывается при сравнительно низких давлениях: 5 *кГ/см*² при влажности порошка 10% и 50 *кГ/см*² при влажности 8%. Коэффициент запрессовки воздуха $K_{з.в}$, т. е. доля запрессованного воздуха в общем его объеме в порошке при прессовании тонко-

зернистых глинистых порошков, находится в пределах 0,37—0,715. Возрастание скорости прессования (переход от гидравлических прессов к рычажным) увеличивает $K_{з.в}$ на 20—50%.

Увеличение влажности порошка понижает величину $K_{з.в}$, так как процесс агрегирования мелких фракций во влажном порошке опережает закупорку его каналов. Однако несмотря на относительно малое количество запрессованного воздуха во влажном порошке, давление его внутри прессовки (при $w = 10 \div 12\%$) достигает почти 100 *атм*, в то время как при влажности порошка 6—8% давление запрессованного воздуха не превышает 20 *кГ/см*² (рис. 72). Такое высокое давление запрессованного воздуха во влажных порошках обусловливает его большую упругую энергию, действие которой приводит к расслаиванию прессовки. Специальные дилатометрические измерения выявили, что расслаивание при прессовании тонкозернистых глинистых порошков (с повышенной влажностью) происходит в момент снятия давления, а в процессе выталкивания наблюдается некоторое сжатие уже имеющейся трещины.

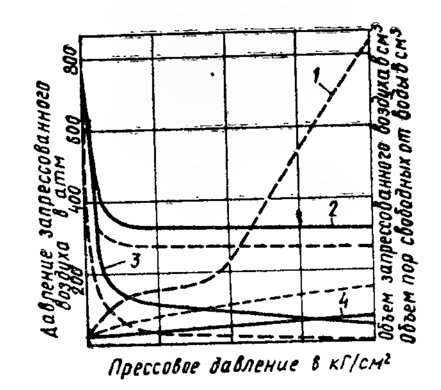


Рис. 72. Параметры запрессовки воздуха при прессовании порошков с влажностью 10,3% (пунктирные линии) и 6% (сплошные линии)

1 — давление запрессованного воздуха; *2* — объем запрессованного воздуха; *3* — объем свободных от воды пор; *4* — давление запрессованного воздуха после снятия прессового давления

Применение вакуумирования прессуемых порошков с влажностью 10—12% позволяет снизить их упругое расширение на 20—50% и исключить расслаивание. Вакуумирование позволяет также без ухудшения качества изделий понизить прессовое давление с 270—300 до 150—180 *кГ/см*², что существенно повышает износоустойчивость прессов. Некоторые глины, которые при всех испытанных режимах без вакуумного прессования давали трещины расслаивания, удалось при вакуумировании спрессовать совершенно без расслаивания. Таким образом, вакуумирование является мощным средством улучшения качества продукции не только при пластическом формовании изделий, но и при прессовании изделий из порошкообразных масс.

При медленном прессовании запрессованный воздух более равномерно распределяется в прессуемом порошке, в результате чего предотвращается образование отдельных опасных зон, в которых возникающие усилия превышают прочность прессовки в момент конца ее сжатия.

Грубозернистые отощенные порошки обладают меньшим $K_{з.в}$, равным 0,303—0,57, интервал давлений, в котором происходит вытеснение воздуха, доходит до 100 *кГ/см²*, упругое расширение их ниже — не превышает 4,5%. Поэтому упругое расширение в момент снятия давления у таких порошков почти не происходит, оно не приводит к образованию расслаивания, и грубозернистые отощенные порошки можно прессовать без вакуумирования.

Третьим фактором, обусловливающим упругое расширение прессовки, являются упругие деформации плоских глинистых частиц. Склонность порошков к расслаиванию изготовленных из них прессовок возрастает с увеличением содержания в порошке глинистой части.

Таким образом, средствами предотвращения расслаивания прессовок могут быть:

повышение однородности прессуемого порошка по крупности его зерен;

повышение влажностной однородности глиняного порошка;

понижение влажности порошка;

отощение порошка грубозернистыми отощителями;

снижение величины прессового давления;

применение двустороннего, ступенчатого, замедленного прессования;

вакуумирование прессуемого порошка;

поддержание поверхности прессформы в хорошем, свободном от неравномерного износа состоянии, что обеспечивает минимальное трение о поверхность прессформы при выталкивании из нее спрессованного изделия.

Для подбора рационального сочетания влажности и давления рекомендуют практиковать сопоставление фактической пористости экспериментальных прессовок с расчетной минимальной пористостью $П_{мин}$, которую определяют по формуле

$$П_{мин} = \frac{w\gamma_{т.в}}{(100 - w)\,\gamma_ж - w\gamma_{т.в}}\,100\%, \qquad (36)$$

где w — влажность или содержание технологической связки в % по весу; $\gamma_{т.в}$ и $\gamma_ж$ — удельные веса соответственно минерального вещества и технологической связки.

Выбирать те или иные мероприятия для предотвращения расслаивания прессовки надо с учетом их влияния на конечные физико-технические свойства изделий, регламентированные ГОСТами и ТУ.

§ 3. ПРЕССЫ ДЛЯ СУХОГО ПРЕССОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Различают следующие типы прессов для формования керамических изделий из порошкообразных масс:

по направленности прессовых усилий — прессы одностороннего и двустороннего прессования;

по кратности воздействия прессовых усилий — прессы однократного и ступенчатого прессования;

по способу передачи прессующих усилий — прессы ударного действия, рычажные и гидравлические;

по основному назначению — прессы для производства кирпича и тонкостенных плиток.

Для сухого прессования кирпича получили применение механические прессы «Дорстен», ССМ-583, СМ-198 (АМ-11), СМ-301 и СМ-143.

В последние годы за рубежом появились гидравлические прессы (Локателли — Италия, Хендле — ФРГ), которые прессуют пустотелые укрупненные камни [58]. Они могут формовать пятистенные дырчатые камни с размерами 365 × 240 × 175, 365 × 175 × 175 и 365 × 115 × 175 *мм*. В полке камня предусмотрены дырки для циркуляции печных газов, пустотность камня 40—43%, объемный вес 1200 *кг/м³* при прессовании из глин без ввода выгорающих добавок, предел прочности при сжатии 138—179 *кГ/см²*. Пресс может развивать максимальное давление 3000 *Т*. Влажность порошка — 8%, крупность зерен — не более 3 *мм*, удельное давление прессования составляет 50—250 *кГ/см²*. Давление на прессе двустороннее с предварительным вибрированием; предусмотрена возможность смазки форм маслом.

Пресс делает 2,5 цикла в 1 *мин* и одновременно может прессовать пять камней размером 365×240×175 *мм*, либо семь камней размером 365 × 175 × 175 *мм*, либо 10 камней размером 365 × 115 × 175 *мм*. В переводе на условный кирпич производительность такого пресса достигает 6000 шт. условного кирпича в 1 *ч*, что находится на уровне современных прессов пластического формования. Появление таких прессов может открыть новую перспективу перед способом сухого прессования кирпича, поскольку он снимает наиболее существенные недостатки этого способа.

Для прессования плиток применяются прессы «Робот», «Тюрингия» (выпущен в двух исполнениях — $КРК_п$-125 и $КРК_п$-200), «Дорст», СМ-679/1.

На прессе $КРК_п$-200 можно осуществлять двухслойное прессование плиток по схеме, изображенной на рис. 73. При выталкивании спрессованной плитки одновременно заполняются каретки механизма засыпки прессформы пресспорошком двух видов: для лицевого и основного слоев (положение *I*). При сталкивании плитки со стола пресса пресспорошок для основного слоя подается в матрицу (положение *II*), а после опускания нижних штампов эта масса заполняет матрицу (положение *III*). При движении каретки механизма засыпки в исходное положение подсыпается лицевой слой (положение *IV*). Прессование происходит в обычной последовательности — вначале первичное

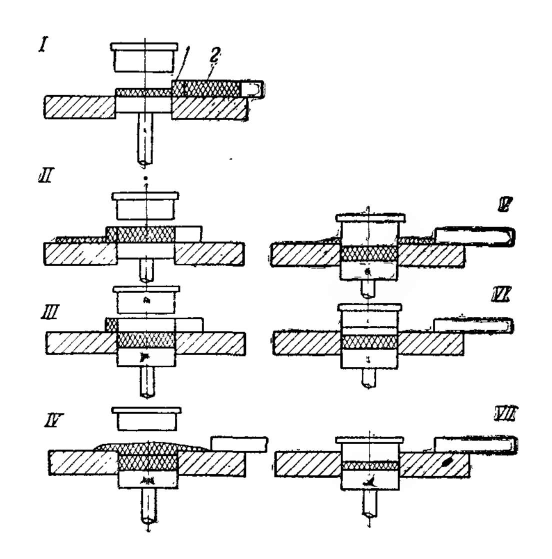


Рис. 73. Схема прессования двухслойных плиток

1 — порошок лицевого слоя; *2* — порошок основного слоя

прессование (положение *V*), затем подъем штемпелей для освобождения запрессованного воздуха (положение *VI*) и второе прессование (положение *VII*). Во время прессования излишняя масса лицевого слоя сдувается и аспирационным устройством возвращается в бункер. Все операции цикла двухслойного прессования совершаются автоматически.

Двухслойное прессование имеет очень существенные преимущества по сравнению с однослойным: оно дает

Таблица 16

Характеристика прессов для керамических плиток

Показатели	Прессы				
	„Робот"	КРК$_п$-125	„Дорст"	СМ-679/1	„Сноме" А-260
Производительность (для плиток 150×150×4 *мм*) в тыс. *шт/ч*	1000	2000	2640	1600	2880
Усилие прессования в *Т*	75	125	130	320	260
Количество одновременно прессуемых плиток	1	2	2	4	4
Мощность электродвигателя в *квт*	5	7,4	8,8	14	22,1
Вес в *т*	4	9,5	7	8,6	6,8
Установочная площадь в *м*²	7,85	10,3	12	21,7	—
Удельное давление прессования в *кГ/см*²	310	277	288	355	255
Продолжительность цикла прессования в *сек*	—	—	—	11—16	5
Удельные показатели на 1000 *шт/ч*:					
металлоемкость в *т*	4	4,75	2,16	5,4	2,36
электроемкость в *квт*	5	3,7	3,2	8,75	7,66
площадь в *м*²	7,85	5,15	4,5	13,6	—

возможность использовать для нижнего (основного) слоя менее качественное сырье и только для верхнего слоя (толщиной 2—2,5 *мм*) расходовать высококачественное привозное сырье; по данным зарубежных фирм, экономия затрат при производстве плиток достигла 30—35%; можно обеспечить повышенную надежность крепления плиток к поверхности строительной конструкции. Последнее объясняется тем, что нижний (основной) слой можно делать из грубозернистых отощенных масс со слабой спекаемостью, в результате чего его пористость будет повышена и обеспечит лучшие адгезионные свойства и, как следствие, более прочное сцепление с раствором. Некоторые показатели прессов для прессования плиток приведены в табл. 16.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЛИТЬЕМ

Литьем керамических изделий называется их формование путем заливки шликера в форму, внутренняя поверхность которой имеет негативное изображение формуемого изделия. Литьем формуют сложные по конфигурации, преимущественно тонкостенные изделия. Этот метод применяется в производстве санитарно-строительных изделий, хозяйственного фарфора и фаянса, декоративной керамики и некоторых других изделий.

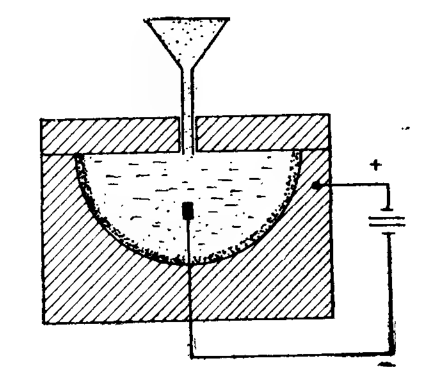


Рис. 74. Схема набора черепка электрофоретическим методом в металлической форме

Для литья керамических изделий применяются гипсовые формы, достоинство которых заключается в относительной простоте их изготовления и в их большой водоаккумулирующей способности. Недостатками гипсовых форм являются быстрый износ, «фильтрационная усталость» и малая ударная прочность. В ГИКИ разработан метод литья керамических изделий в металлические формы, основанный на принципе электрофореза (рис. 74). При наложении электрического поля на глинистый шликер его твердые частицы, имеющие отрицательный заряд, начинают двигаться по направлению к положительно заряженной форме. Таким образом, в системе, изображенной на рис. 74, шликер является анодом, а форма катодом.

Несмотря на обнадеживающие преимущества этого способа, промышленного применения он еще не получил. Опыты по замене гипса синтетическими полимерными материалами также не получили еще успешного завершения.

Заливать шликер можно в индивидуальные и батарейные формы. Процесс образования на стенках гипсовой формы относительно плотного, частично обезвоженного осадка, являющегося стенками формуемого изделия, называется «набором черепка».

Теория процесса набора черепка при отливке керамических изделий разработана пока слабо. По отдельным стадиям он развивается в такой последовательности: после заливки в форму шликера в нем возникают микропотоки под отсасывающим воздействием гипсовой формы. Достигая поверхности формы, твердые частицы шликера прекращают свое движение и откладываются на ней, принимая уплотненное ориентированное расположение в пристеночном слое формы. С образованием пристеночного уплотненного слоя, обладающего очень низкой влагопроводностью, процесс перемещения влаги в шликере замедляется и его частицы, образующие внутреннюю поверхность формуемого изделия, имеют по преимуществу анизотропное (неориентированное) расположение, что обусловливает относительную рыхлость его внутреннего слоя.

Таким образом, при наборе черепка влагообменные процессы происходят фактически в трехслойной системе: шликер — черепок — гипсовая форма.

Сопротивление фильтрации $R_ф$ этой системы выражается уравнением

$$R_ф = R_ш + R_ч + R_г, \qquad (37)$$

где $R_ш$ — сопротивление влагопереносу слоя шликера; $R_ч$ — сопротивление влагопереносу черепка; $R_г$ — сопротивление влагопереносу гипсовой формы.

Специальные эксперименты выявили, что в общем сопротивлении влагообмену лимитирующим звеном является величина $R_ч$. Остальные слагаемые уравнения (37) исчезающе малы в сравнении с его величиной. Поэтому для интенсификации процесса набора черепка нужно максимально (по возможности) уменьшить величину $R_ч$, т. е. увеличить фильтрационные свойства пристеночного слоя черепка.

Для этого прежде всего повышают степень отощения шликера, так как глинистые частицы обладают большой водоудерживающей способностью, обусловливающей пониженную влагопроводность глинистого осадка — черепка. Интенсивность набора черепка можно регулировать также подбором вещественного состава электролитов, применяемых при приготовлении шликера. Д. Гаркорт и Р. Герман приводят следующие данные о влия-

нии электролитов на интенсивность набора черепка (табл. 17) [59].

Таблица 17

Влияние электролитов на интенсивность набора черепка и качество его поверхности

Электролиты	Текучесть в *сек*	Толщина черепка в *мм* после 5 *мин* набора	Вид внутренней поверхности отливки
Сода	83	3,9	Очень гладкая, но неровная. Свиль
Жидкое стекло	64	2,5	Сильно шероховатая (рябь)
Тетранатрий пирофосфат	99	3	Небольшая шероховатость
Оксалат натрия	120	5,1	Гладкая, но неровная. Свиль
Тетрат аммония	160	5	Очень гладкая. Отсутствие свили
Гексаметафосфат натрия			Несколько зернистая
Гуминовая кислота + 10%	82	2,3	Значительная шероховатость. Рябь
NaOH	68	2,3	

Другими средствами интенсификации набора черепка являются:

подогрев шликера, ускоряющий набор черепка в 2—2,5 раза;

введение в шликер щелочных вытяжек из бурого угля или из соломы;

вакуумирование формы;

вакуумирование шликера;

литье под давлением;

вибрация шликера и формы;

смачивание гипсовых форм водным раствором мочевины перед заливкой в них шликера.

Добавка в шликер танина и гумусовых веществ дает возможность получить максимальную текучесть шликера при меньшей концентрации неорганических электролитов. Молекулы танина адсорбируются на поверхности глинистых частиц своими гидрофильными концами, а их гидрофобные концы образуют при этом внешнюю поверхность, уменьшая количество связанной воды в системе глина — вода и обусловливая ее разжижаемость при более низком влагосодержании.

Вакуумирование шликера ускоряет набор черепка.

Под воздействием вибрации происходит понижение вязкости [60], в особенности нетекучих шликеров с ненарушенной структурой за счет разрушения связей между частицами. Количество связанной воды, как это установлено специальными экспериментами, под воздействием вибрации не уменьшается. Вибрация

шликера дает возможность применять подогрев его до 60° С, в то время как без вибрации такой подогрев приводит к возрастанию скорости структурообразования в шликере, препятствующей его заливке в формы.

Вибрация формы дает возможность сливать из форм шликер с повышенной вязкостью, при этом устраняются натеки на внутренней поверхности изделия. Остаточная влажность отливки снижается при вибрации на 1—2% за счет более легкого отделения свободной воды. Предел прочности отливки при сдвиге возрастает на 10—30%, а предел прочности при изгибе высушенных образцов — до 20%. Водопоглощение обожженных образцов снижается на 0,5—1%, они имеют более гомогенную и плотную структуру с незначительным количеством воздушных включений, что может оказаться особенно важным для улучшения электрических свойств керамических изделий.

Закономерности влагообмена при наборе черепка аналогичны закономерностям нестационарного теплообмена, при котором количество тепла, аккумулированного стенкой, описывается уравнением [61]

$$Q = \frac{2}{\sqrt{\pi}} t_п b \sqrt{\tau}, \qquad (38)$$

где $t_п$ — температура поверхности стенки; τ — длительность процесса; b — коэффициент тепловой аккумуляции:

$$b = \sqrt{\lambda c \gamma}, \qquad (39)$$

где λ — коэффициент теплопроводности; c — весовая теплоемкость; γ — объемный вес.

Количество влаги, аккумулированной гипсовой формой, должно выражаться аналогичным уравнением

$$Q' = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \theta_г b' \sqrt{\tau}, \qquad (40)$$

где $\theta_г$ — потенциал переноса влаги для гипса; b' — коэффициент влагоаккумулирующей способности гипса.

В данном случае

$$b' = \sqrt{\lambda' C' \gamma},$$

где λ' — коэффициент влагопроводности гипса; C' — удельная влагоемкость гипса *.

Процесс влагообмена между шликером и гипсовой формой аналогичен процессу нестационарного теплообмена при граничных условиях четвертого рода и очень близок по характеру к явлениям теплообмена, происходящим при затвердении расплава в форме [62]. Поэтому интенсивность влагообмена между шликером и гипсовой формой будет еще зависеть от величины коэффициентов

$$K_1 = \frac{\dfrac{x_ш}{\lambda'_ш}}{\dfrac{x_ч}{\lambda'_ч}} \qquad (41) \qquad \text{и} \quad K_2 = \frac{\dfrac{x_г}{\lambda'_г}}{\dfrac{x_ч}{\lambda'_ч}}, \qquad (42)$$

где $x_ш$, $x_ч$, $x_г$ — толщина слоев соответственно шликера, черепка и гипса (рис. 75); $\lambda'_ш$, $\lambda'_ч$, $\lambda'_г$ — коэффициенты влагопроводности соответственно шликера, черепка и гипса.

Рассмотрение аналогий между явлениями теплообмена и влагообмена выявляет те характеристики, которые необходимо определять при изучении явлений набора черепка отливкой.

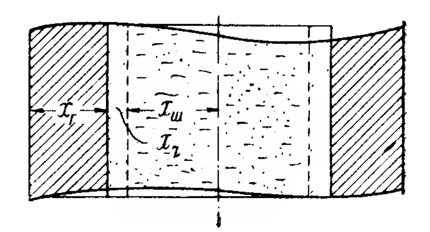


Рис. 75. Распределение толщин при наборе черепка отливкой

По характеру взаимодействия шликера с формой различают три способа литья керамических изделий — сливной, наливной и комбинированный.

При сливном способе излишек шликера сливается из формы после того, как образовалось изделие заданной толщины. При наливном способе набор черепка происходит между двумя стенками гипсовой формы, а конечная его толщина определяется величиной промежутка между стенками гипсовой формы. При комбинированном способе некоторые элементы изделия отливаются наливным, а некоторые — сливным способом.

Достоинством сливного способа являются относительная простота конструкции формы и процесса ее сборки, уменьшение размера формы, меньшее количество приставных деталей, уменьшение количества операций по оформлению изделий и облегчению условий труда, более широкие возможности механизации рабочих операций процесса литья. Однако этому способу присущи и существенные недостатки: больше расход шликера, шликер должен иметь повышенную влажность, толщина стенок изделия получается неравномерной, внутренняя поверхность изделия не может быть рельефной. Сливной способ применяется преимущественно для изготовления мелких тонкостенных изделий и при конвейерной организации рабочего процесса.

Преимуществами наливного способа являются значительная интенсификация процесса набора черепка, так как почти в два раза возрастает поверхность контакта шликера с формой, стенки изделия получаются строго заданной толщины, а при необ-

* Физический смысл величин C, λ' и θ дан в учебнике [10].

ходимости изделие может быть получено равнотолщинным; меньшие расход шликера и его влажность. Недостатками наливного способа является то, что усложняется конструкция формы и она обязательно должна быть разборной, что делает трудным механизацию этого способа.

Рабочий процесс формования изделий методом литья в общем случае слагается из следующих основных операций: очистка гипсовой формы, сборка формы, промазка швов, заливка шликера, набор черепка (до влажности отливки 22—24%), выемка изделия из формы, установка приставных деталей, предварительная оправка изделия при влажности 17—18%, подвялка их до влажности 14—16% и окончательная оправка.

При заливке гипсовых форм должен обеспечиваться свободный выход из них воздуха. Лучшие результаты получаются при заливке шликера снизу. Это предотвращает удар струи и появление мутных пятен на изделия, а также исключает появление свилей, которые могут явиться результатом турбулизации потоков шликера в пристеночном слое формы. В некоторых литейных автоматах шликер заливают под вакуумом дозированными порциями.

Существует два основных метода организации рабочего процесса литья: стендовый и конвейерный.

При стендовом методе все операции (до подвялки) выполняются последовательно во времени на одном и том же посту. Единственным его достоинством является простота оборудования, недостатки же этого способа весьма существенны. Прежде всего он характеризуется низкой интенсивностью процесса, малым использованием литейных площадей, наличием физически тяжелых и трудоемких операций и непостоянством длительности набора черепка. Вследствие фильтрационной усталости формы динамика изменения длительности цикла ее полного оборота составляет:

порядковый номер заливки . . .	1	2	3	4	5	6	7
длительность цикла в *ч*	6—7	7—8	8—10	12—13	16—17	18—19	20—21

Таким образом, после 7 циклов длительность набора черепка возрастает примерно в 3 раза, что обусловливает малую производительность литейных площадей и необходимость большого парка форм. В связи с этим стендовому методу приходят на смену литейные автоматы и конвейеры, специализированные для каждого типа изделий. В некоторых конструкциях литейных конвейеров предусматривается искусственная сушка форм, что стабилизирует их оборачиваемость.

Для изделий, сформованных методом литья, характерны определенные виды дефектов. Главнейшие из них следующие.

Трещины могут возникнуть как в период пребывания изделия в форме, так и после его выемки. Причинами образования трещин могут быть неодинаковая влажность (а, следовательно, и неодинаковая усадка) отдельных частей изделия и отдельных частей формы, неодинаковая толщина отдельных частей изделия и резкие переходы от тонких к толстым его частям, неодинаковая влажность приставных частей и основных частей изделия, низкая связность отливки, являющаяся следствием чрезмерного отощения массы, склонность шликера к коагуляции и конструктивные недостатки формы. На сырых изделиях трещины заделывают той же массой, из которой отлито изделие, причем влажность ее должна быть такой же, как самого изделия в момент заделки трещины.

Разнотолщинность изделия при наливном способе является следствием неправильной сборки форм, а при сливном — несвоевременного слива шликера.

Повреждение изделий при выемке из формы происходит при повышенной влажности форм и шликера, а также при плохой очистке формы перед заливкой.

Литейные пятна появляются в результате удара струи заливаемого шликера о стенки формы. Заливка шликера снизу исключает их появление.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

СУШКА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Процесс сушки сопутствует производству всех видов керамических изделий. При этом сушат не только сформованные изделия, но также глину, фильтр-прессные коржи, заготовки (валюшки) и шликер. При изготовлении многих керамических изделий сушка оказывает решающее влияние на качество готовой продукции. Так, трещины, появляющиеся при сушке многих керамических изделий, обусловливают их брак, а при производстве кирпича существенно снижают его качество. В ряде случаев деформация изделий, даже при отсутствии трещин, также ведет к их браку либо снижает их сортность (черепица, трубы, фасадные плиты и др.).

Процесс сушки оказывает заметное влияние на экономику производства, поскольку его осуществление требует значительных расходов топлива и электроэнергии, а денежные затраты на этот процесс составляют в ряде случаев 10—12% от общей себестоимости готовых изделий. Значительны также капиталовложения на сооружение сушильных установок, размеры которых растут в прямой зависимости от длительности процесса сушки. Во многих случаях размеры сушильных установок и интенсивность процесса сушки лимитируют общий выпуск продукции предприятием, являясь так называемым «узким местом», и от возможно-

сти увеличения производительности сушильного цеха зависит рост общей производственной мощности завода.

Поэтому во всех случаях нужно стремиться к такой организации процесса сушки, в котором сочеталось бы получение продукции или полуфабриката высокого качества, минимальная длительность процесса и возможно малые расходы тепла и электроэнергии. Достижение этих целей составляет задачу рациональной организации процесса сушки и требует знания основ ее технологии. В технологии сушки рассматриваются закономерности протекания физико-химических, структурно-механических, тепло- и влагообменных и других явлений, сопутствующих процессу сушки.

§ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ

В производстве керамических изделий процесс сушки не является чисто тепловым процессом: при сушке глины и сформованных изделий меняются их технологические и физико-технические свойства. Так, глина, пересушенная до потери гидратной влаги, имеет пониженную пластичность и теряет свою связующую способность. Керамическое изделие, высушенное неравномерно, может дать брак в обжиге. Скрытые дефекты формования изделия (например, «свиль») могут в результате неправильной сушки развиться в трещины, в то время как при правильном ведении процесса сушки они могут и не повлиять столь губительно на качество изделий. Пересушенное изделие становится чрезмерно хрупким и не выдерживает сотрясений и ударов при транспортировании и перегрузках. Таким образом, в производстве керамических изделий сушка является не только тепловым, но и важнейшим технологическим процессом. В связи с этим необходимо знать и учитывать те изменения, которые происходят в материале при его сушке.

1. Изменение влагосодержания и температуры материала при его сушке

В процессе сушки изменяется влагосодержание материала и его температура. Характер изменения этих показателей и их взаимозависимость удобней всего рассмотреть на совмещенной диаграмме (рис. 76). Из курса теплотехники известно, что графическая зависимость между влагосодержанием и временем называется кривой сушки, а между скоростью сушки и временем — кривой скорости сушки. Так как изменение влагосодержания материала пропорционально времени, то иногда кривые сушки строят в координатах влагосодержание — вес материала, а кривые скорости сушки в координатах влагосодержание — скорость сушки.

Для глинистых материалов характерна следующая зависимость между кривыми сушки, скорости сушки и температуры материала.

В начальный период сушки τ_1' происходит прогрев материала (кривая *1*, рис. 76, *а*) от его начальной температуры t_0 до температуры насыщенного воздуха (при данном влагосодержании), равной температуре мокрого термометра $t_м$. Температура среды (окружающего воздуха) предполагается постоянной в течение всего времени сушки, равной температуре сухого термо-

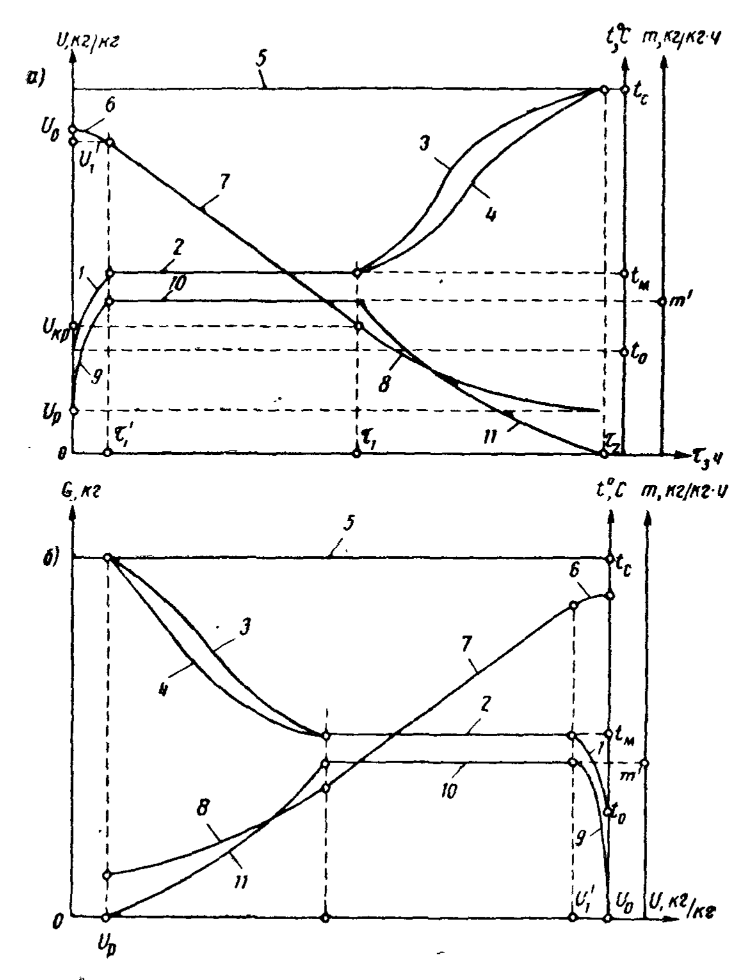


Рис. 76. Диаграммы процесса сушки

а — в координатах время сушки τ — влагосодержание материала *U*; *б* — в координатах влагосодержание материала *U* — масса материала *G*; *1—5* — температуры; *6—8* — влагосодержание (на рис. 76, *а*) и вес материала (на рис. 76, *б*); *9—11* — скорость сушки

метра $t_с$ (линия 5). Влагосодержание материала в этот период изменяется незначительно от начального U_0 до U_1' (кривая 6), а скорость сушки $m = \frac{dU}{d\tau}$ скачкообразно возрастает от нуля до m (кривая 9).

С момента τ_1', когда материал прогреется до температуры мокрого термометра, температура его в течение некоторого периода остается постоянной (линия 2). Постоянной также остается и скорость сушки (линия 10). Поэтому этот период длительностью $\tau_1' - \tau_1$ называют периодом постоянной скорости сушки или периодом постоянной температуры материала, а иногда просто первым периодом сушки. Влагосодержание материала в этом периоде изменяется по прямой τ_1 (линия 7).

Второй период сушки $(\tau_2 - \tau_1)$ начинается с четко выраженного перегиба на кривой скорости сушки. Влагосодержание, при котором образуется этот перегиб, называется критическим $U_{кр}$. По достижении этого влагосодержания скорость сушки начинает падать (кривая 11). Поэтому второй период сушки называют периодом падающей скорости. Само влагосодержание материала изменяется в этот период уже не по прямой, а по некоторой кривой 8. Температура материала в период падающей скорости растет, причем температура поверхности образца (кривая 3) растет более быстро, нежели температура его центра (кривая 4).

Иногда на кривой падающей скорости различают две критические точки (два перегиба). В этом случае первая критическая точка соответствует моменту, когда скорость сушки начинает падать, а температура поверхности материала продолжает еще оставаться равной температуре мокрого термометра. Это связано с тем, что на поверхности материала начинают появляться «сухие островки». Вторая критическая точка соответствует моменту, когда скорость сушки уменьшается, а температура поверхности материала начинает расти.

С точки зрения форм связи влаги с материалом второе критическое влагосодержание $U_{кр\,2}$ соответствует границе между влагой капиллярной конденсации и влагой полимолекулярной адсорбции.

Процесс сушки заканчивается, когда влагосодержание материала уменьшается до равновесного $U_р$, а его температура становится равной температуре сухого термометра $t_с$. Скорость сушки к этому моменту снижается до нуля.

Так как период прогрева материала сравнительно невелик и не всегда бывает ярко выражен, то обычно период прогрева включают в первый период сушки и весь процесс условно делят на два периода: период постоянной скорости сушки (от $\tau_0=0$ до $\tau=\tau_1$) и период падающей скорости сушки (от $\tau=\tau_1$ до $\tau=\tau_2$).

Если в качестве абсциссы принимается не время сушки, а влагосодержание материала, то диаграмма приобретает вид, показанный на рис. 76, *б*, причем ординатой кривой сушки является изменение веса материала.

Закономерности изменения влагосодержания высушенного материала, представленные на рис. 77, относятся к среднему влагосодержанию $\bar{U}$ образца или изделия. В процессе сушки из-

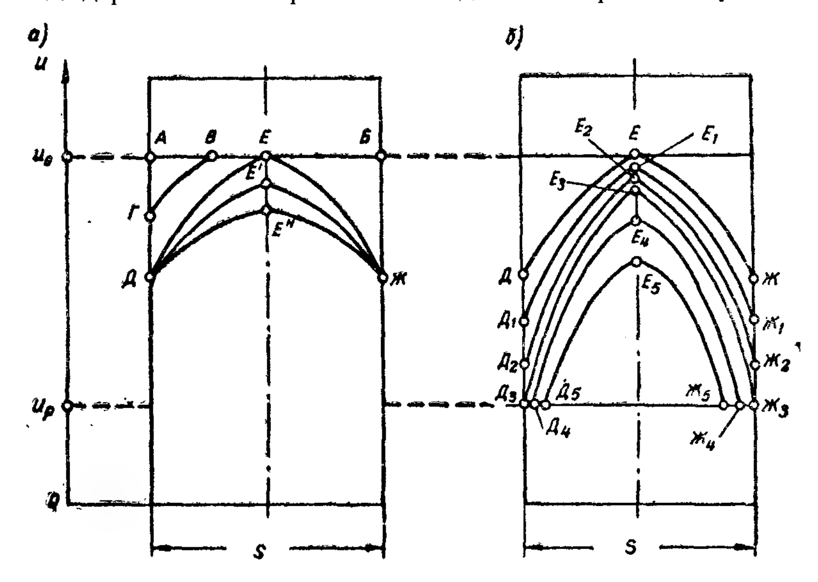


Рис. 77. Динамика распределения влагосодержаний в толще материалов при его сушке

а — при $q'_{п.в}=q'_{ц.в}$; *б* — при $q'_{п.в}>q'_{ц.в}$

меняется не только среднее влагосодержание образца, но и распределение влагосодержания по его толщине. Рассмотрим, как это происходит. До начала сушки распределение начального влагосодержания U_0 является практически равномерным (рис. 77, *а*, линия *АБ*). В начале сушки, вследствие разности парциальных давлений водяных паров на поверхности материала и в окружающем воздухе, влага с поверхности материала начинает испаряться, благодаря чему в его толще возникает перепад влагосодержаний (линия *ВГ*). Появление этого перепада обусловливает возникновение потока влаги в его толще, в направлении от центра к периферии. Интенсивность потока влаги материала $q'_{ц.п}$ описывается уравнением А. В. Лыкова [63]

$$q'_{ц.п} = -a'\gamma_0(\nabla U \pm \delta\nabla t + D\nabla P), \quad (43)$$

где a' — коэффициент потенциалопроводности влаги в $м^2/ч$;

γ_0 — объемный вес сухого материала в $кг/м^3$; ∇U — градиент влагосодержания в $1/м$; δ — термоградиентный коэффициент в $1/град$; ∇t — градиент температуры в $град/м$; D — коэффициент молярного переноса в $м^2/ч$; ∇P — градиент давлений.

Второй член уравнения (43) выражает «вклад» термодиффузии в общую величину интенсивности потока влаги внутри материала от его центра к поверхности. Этот член имеет впереди два знака: ±. Это означает, что направление градиента температур может быть противоположно направлению потока влаги или они могут совпадать. В первом случае термодиффузия будет притормаживать поток влаги от центра к поверхности материала, во втором — будет его усиливать.

Уравнение (43) показывает также, что приток влаги из центра к поверхности материала может быть осуществлен и при отсутствии градиента влагосодержаний, т. е. когда $\nabla U = 0$, а $\nabla t \neq 0$. В этом случае перемещение влаги внутри материала будет происходить только за счет термодиффузии. Практически это наблюдается тогда, когда температура материала в его центре выше, чем на поверхности, например при сушке пароувлажненного кирпича-сырца. Принцип направленной термодиффузии используется также при сушке полых крупногабаритных изоляторов.

Если при сушке материала происходит испарение влаги внутри его толщи и водяные пары не успевают из него полностью удалиться, то внутри материала возникает избыточное давление, которое также становится фактором, ускоряющим перемещение влаги внутри материала. Г. А. Максимов [64] показал, что избыточное давление водяных паров внутри сохнущего материала может появиться уже при температуре около 70° С. Давление их может иногда оказаться настолько большим, что вызывает разрушение материала при его сушке.

По истечении некоторого времени от начала сушки в толще образца устанавливается параболическое распределение влагосодержания (рис. 77, *а*, линия *ДЕЖ*), которое удерживается в течение всего периода постоянной скорости сушки. Но крутизна параболы все время будет меняться. Когда влагосодержание поверхности материала сравняется с его равновесным влагосодержанием (рис. 77, *б*, линия $Д_3Е_3Ж_3$), закончится период постоянной скорости сушки. С этого момента фронт испарения влаги начнет углубляться внутрь материала и перепады влагосодержаний начнут уменьшаться (рис. 77, *б*, линия $Д_4, Е_4, Ж_4$ и $Д_5Е_5Ж_5$). Полностью процесс сушки прекратится, когда по всей толще материала влагосодержание сравняется с равновесным $U_р$ (рис. 77, *б*, линия $Д_3Ж_3$).

Таким образом, равновесное влагосодержание является тем минимальным влагосодержанием, до которого может быть высушен материал. Равновесное влагосодержание зависит от

свойств самого материала и от температуры окружающей среды. На рис. 78 приведены кривые равновесной влажности огнеупорных глин [65]. Эти кривые показывают, что с возрастанием температуры равновесная влажность понижается. Следовательно, чтобы высушить материал до более низкой остаточной влажности, нужно сушить его при более высокой температуре.

С увеличением содержания глинистой фракции равновесная влажность возрастает. У монтмориллонитовых глин она выше, чем у каолинитовых. Добавка отощителя понижает равновесную влажность глин.

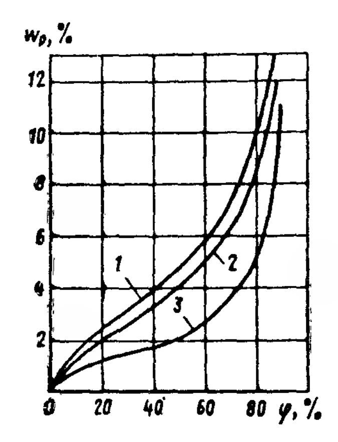


Рис. 78. Кривые равновесной влажности огнеупорных глин

1 — часов-ярская глина при $t = 35°$ С; *2* — то же, при $t = 55°$ С; *3* — боровичский сухарь при $t = 35°$ С

Пересушка материала до остаточной влажности, более низкой, чем равновесная для цехового помещения, может явиться причиной брака. В этом отношении характерен такой пример. На одном из керамических заводов выгрузили из сушилки вагонетку с фаянсовыми плитками и сделали их разбраковку керосиновым контролем. Хорошие плитки оставили после этого на сутки в цехе, а затем плитки вновь подвергли керосиновому контролю. Оказалось, что около 40% этих плиток покрылись трещинами. Причиной их появления была чрезмерно низкая остаточная влажность высушенных плиток. Имея влажность, более низкую, чем равновесная для температуры и относительной влажности цехового помещения, плитки начали поглощать влагу из окружающего воздуха. Эта влага вызвала эффект сорбционного расклинивания и, как следствие, появление трещин.

2. Усадочные деформации и трещины

В § 2 главы II было показано, что глинам свойственны усадочные деформации во время сушки. Следствием их является возникновение искривлений и трещин в изделиях, обусловливающих их брак. Рассмотрим механизм возникновения этих пороков, пользуясь рис. 79. На рис. 79, *а* приведена уже знакомая нам схема распределения влагосодержания в образце прямоугольной формы в период постоянной скорости сушки. По оси абсцисс отложена толщина образца S, а по оси ординат — влагосодержание материала. Ордината U_0 соответствует начальному влагосодержанию образца и практически одинакова по всему его сечению. По прошествии некоторого времени на поверхности образца влагосодержание резко снижается и становится

равным $U_п$, а в центральной его части влагосодержание продолжает оставаться относительно высоким, равным $U_ц$.

Так как согласно закономерности, приведенной на рис. 12, размеры образца сокращаются пропорционально его влагосодержанию, то указанному изменению влагосодержания соответствуют изменения в размерах, приведенные на рис. 79, *б*. Общий

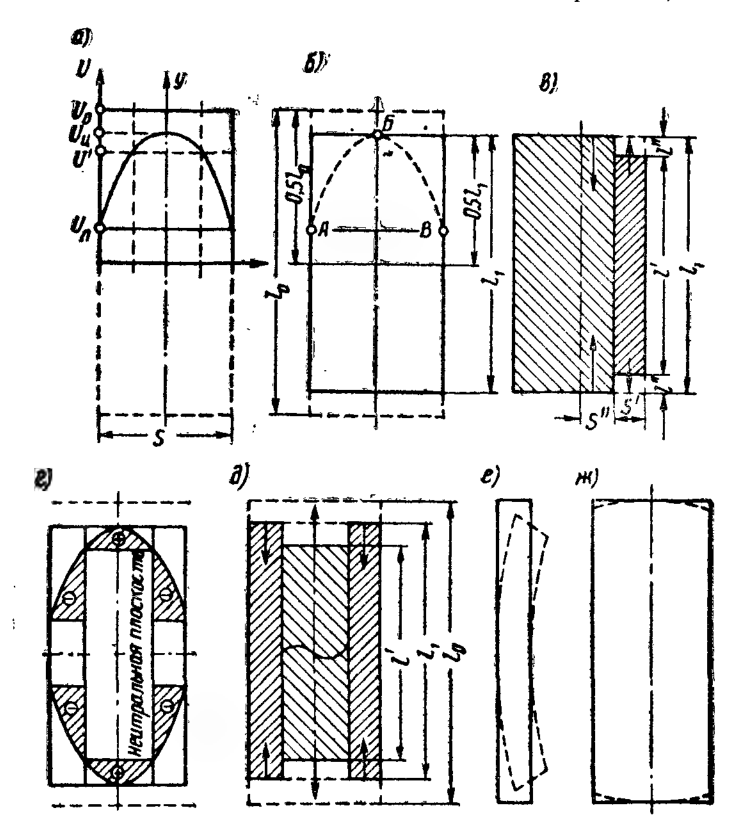


Рис. 79. Схема усилий и напряжений, возникающих при сушке изделия

размер образца сокращается с l_0 до l_1, соответствующей наиболее высокому его влагосодержанию в данный момент $U_ц$.

Если бы каждый элементарный слой образца мог изменять свои размеры независимо от граничащего с ним слоя, то форма образца изменилась бы и соответственно распределению в нем влагосодержания приняла бы очертания, соответствующие кривой *АБВ* (рис. 79, *б*). В действительности же образец сохраняет прямоугольную форму, так как внутренние более влажные слои препятствуют сокращению интенсивно сохнущих поверхностных

слоев. Если мысленно представить себе поверхностный слой S' отрезанным от остальной части образца (рис. 79, *в*), то он при сушке сокращался бы независимо от граничащего с ним внутреннего слоя S'' и соответственно своему влагосодержанию принял бы размер l'. Следовательно, в поверхностном слое сырца возникают и действуют силы, стремящиеся сократить длину слоя S' от величины l_1 до l'. Однако в действительности такого сокращения не происходит, так как образец представляет собой сплошное тело и поверхностный слой, будучи неразрывно связан со смежным внутренним слоем S'', принимает его размер. Таким образом, с каждой стороны образца возникает «недопущенная усадка» $l''=0{,}5(l_1—l')$. Следовательно, недопущенная усадка выражает разницу между длиной элементарного слоя, которую он имел бы при свободном сокращении, и той длиной, которую он имеет в действительности. Действие недопущенной усадки проявляется в том, что внутренний слой S'' как бы растягивает поверхностный слой S' от размера l' до размера l_1. Действие этих сил, стремящихся сократить поверхностный слой до размера l', не проходит бесследно. Они вызывают в поверхностном слое возникновение растягивающих напряжений, а на внутренний слой S'' передают сжимающие напряжения. В итоге эпюра напряжений в образце примет вид, приведенный на рис. 79, *г*. Если величина растягивающих напряжений превосходит предел прочности материала при разрыве, то на его гранях, образующих периметр образца, возникают трещины, называемые сушильными.

Трещины могут возникать не только на гранях по периметру изделия, но и внутри его либо на его большой плоскости, не пересекая граней и ребер изделия. Такие трещины обычно называют внутренними. Механизм их возникновения сводится к следующему [9]. По достижении поверхностью изделия влагосодержания $U_п \leqslant U_{к.у}$ сокращение общих размеров изделия прекратится. Его размер, достигнув величины l_1, остается неизменным в течение всего дальнейшего процесса сушки. Влагосодержание центральной части изделия будет к этому моменту составлять $U_ц > U_{к.у}$. Поэтому внутренние его слои, продолжая сохнуть, будут стремиться сокращаться. Если бы центральная часть изделия могла сокращаться независимо от прилегающих внешних слоев (рис. 79, *д*), то при достижении ею влагосодержания U' (рис. 79, *а*) она приняла бы размер l'. Но осуществиться такому сокращению будет мешать «жесткая» связь с прилегающими поверхностными слоями, у которых в предшествующий период сушки зафиксировался размер l_1. Вследствие возникающей при этом «недопущенной усадки» также возникнут растягивающие напряжения, но уже не в периферийных, а в центральных слоях изделия. Их проявлением чаще всего являются трещины, скрытые внутри массивного изделия, либо видимые трещины на поверхности плоского изделия, не доходящие до его краев.

Следствием неравномерной усадки могут быть не только трещины, но и искривления изделий, особенно плоских, как это показано на рис. 79, *е*. Если изделие с правой стороны сохнет быстрее, чем с левой, то быстросохнущий поверхностный слой будет сокращаться в размерах опережающими темпами, испытывая сжимающие напряжения, передаваемые соседним слоем. Под действием этих усилий изделие, способное к пластическим деформациям, будет изгибаться, как это показано на рис. 79, *е*. Если сушка и, следовательно, усадка проходят опережающими темпами по двум продольным граням, а торцовые грани сохнут медленнее, то последние окажутся искривленными, как это показано на рис. 79, *ж* и как иногда наблюдается при сушке даже таких толстостенных изделий, как кирпич.

3. Определение длительности и режима сушки

Важной задачей технологии сушки является определение того минимального времени, в течение которого керамическое изделие может быть высушено до заданной конечной влажности без коробления, трещин и других пороков. Длительность сушки материала зависит также и от внешних условий, т. е. омывающей его среды. Важнейшими ее характеристиками являются температура, относительная влажность, иногда влагосодержание и скорость движения теплоносителя. Сочетание этих показателей и их динамику за время сушки изделия принято называть режимом сушки. Оптимальным режимом сушки называют такой, который обеспечивает получение изделий кондиционного качества, в минимальные сроки и при возможно малых затратах тепла и энергии.

Существуют три пути подбора оптимального режима сушки.

Первый путь — метод «попыток». При нем, не вдаваясь в физическую сущность причин образования дефектов, экспериментально опробуют серию из нескольких режимов и выбирают из них тот, который обеспечивает минимальный срок сушки данного изделия из испытуемого сырья при каком-то заранее выбранном способе сушки. Этот путь, несмотря на то что он пока имеет монопольное распространение, является наиболее дорогим, трудоемким, длительным, в некоторых случаях грузоемким и, главное, при нем никогда нет уверенности в том, что подобранный режим действительно является наилучшим и что не существует еще какого-то другого неопробованного режима, который возможно дал бы лучшие результаты.

Второй путь — на основе представлений о физической сущности процесса образования дефектов составляются уравнения, описывающие процесс. Затем экспериментально определяются характеристики материала, входящие в расчетные уравнения, и по ним рассчитываются параметры оптимального режима сушки.

Третий путь — из дифференциальных уравнений, описывающих процесс образования дефектов, составляются критерии подобия. Затем экспериментальным путем определяются критические значения этих критериев и по ним рассчитываются параметры режима сушки.

Таким образом, второй и третий пути являются расчетно-экспериментальными. Они усиленно разрабатываются в современной теории сушки и являются наиболее перспективными, хотя и не получили еще заметного распространения в керамической технологии. Особенно перспективным представляется третий путь, открывающий возможности моделирования процесса сушки — наиболее экономичного способа экспериментальных поисков.

Как уже было показано выше, главной причиной появления сушильных трещин в керамических изделиях является возникновение так называемых предельных перепадов влагосодержания между центром и поверхностью изделия (или по его площади), т. е. таких перепадов, при которых напряжения, вызванные недопущенной усадкой, превосходят по своей величине предел прочности материала. Следовательно, задача расчета сводится к тому, чтобы определить ту минимальную длительность сушки, при которой перепады влагосодержания не будут достигать предельных критических величин.

В теории влагообмена, разработанной А. В. Лыковым [63], установлена зависимость между перепадом влагосодержания и интенсивностью сушки в виде гигрометрического критерия Кирпичева K'_i. (Напомним, что критерием называют безразмерный комплекс величин.)

$$K'_i = \frac{q'R}{a'\gamma_0\bar{U}_0} = 2\,\frac{U_ц - U_п}{\bar{U}_0}, \qquad (44)$$

где R — характерный размер тела (например, для пластины — половина ее толщины). Остальные обозначения имеют прежнее значение. Черточка над символом $\bar{U}_0$ означает, что под этим символом понимается средняя начальная влажность.

Основной принцип использования зависимости (44) для определения срока сушки таков.

1. Экспериментально определяются величины a', γ_0, $\bar{U}_0$.

2. Экспериментально определяется, при каком минимальном перепаде влагосодержаний ($U_ц$—$U_п$) в изделии появляется трещина.

3. Зная начальную влажность U_0 изделия, подсчитывается численная величина гигрометрического критерия Кирпичева по формуле

$$K'_i = 2\,\frac{U_ц - U_п}{\bar{U}_0}. \qquad (45)$$

4. Вычисляется допустимая интенсивность сушки по формуле

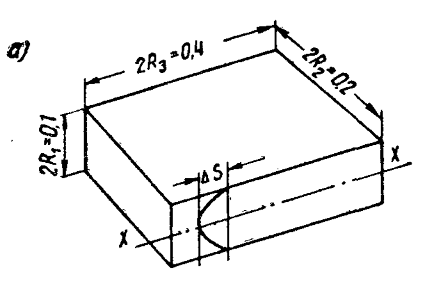
$$q' = \frac{K'_i\, a'\, \gamma_0 \overline{U}_0}{R}. \quad (46)$$

5. Имея в виду, что

$$q' = \frac{(\overline{U}_0 - \overline{U}_к)\, \gamma_0 V_м}{F_м \tau}\ кг/м^2 \cdot ч \quad (47)$$

(где $V_м$ — объем изделия в $м^3$ и $F_м$ — площадь поверхности изделия в $м^2$), вычисляется минимальная длительность безопасного процесса сушки по формуле

$$\tau = \frac{(\overline{U}_0 - \overline{U}_к)\, \gamma_0 V_м}{q' F_м}\ ч. \quad (48)$$



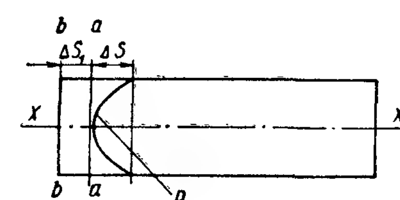


Рис. 80. Эскизы к примеру расчета срока сушки

а — размеры изделия; *б* — схема усадки и деформации пластины

Рассмотрим простейший пример применения этой методики [8]. Определим срок сушки керамического изделия, имеющего форму и размеры, показанные на рис. 80, *а*. Его начальное влагосодержание $\overline{U}_0=0{,}28$, усадка $У_{от}=8\%$, коэффициент потенциалопроводности $a'=6\cdot10^{-5}$ $м^2/ч$, растяжимость $\varepsilon=2\%$, критическое влагосодержание, при котором заканчивается усадка изделия, $U_{кр}=0{,}12$, объемный вес материала $\gamma=1{,}8$ $г/см^3$.

Изделие сушится как пластина с двух симметричных поверхностей $2R_2\times2R_3$; остальные поверхности изделия принимаются условно тепло- и влагоизолированными.

Объем изделия $V_м=0{,}1\times0{,}2\times0{,}4=0{,}008$ $м^3$, или $V_м=8$ *л*.

Вес изделия $G_м=1{,}8\times8=14{,}4$ *кг*.

Вес воды в изделии

$$G_w = \frac{\overline{U}_0 G_м}{1+\overline{U}_0} = \frac{0{,}28\cdot14{,}4}{1{,}28} = 3{,}14\ кг^*.$$

* Формула для определения G_w получается совместным решением двух уравнений: $G_c+G_w=14{,}4$ и $G_w : G_c=0{,}28$, где G_c — вес сухой части материала в изделии.

Подлежит испарению воды до наступления $U_{кр}$

$$\Delta G = \frac{3{,}14\,(0{,}28-0{,}12)}{0{,}28} = 1{,}8\ кг.$$

Поверхность влагоотдачи $F_м=0{,}2\times0{,}4\times2=0{,}16$ $м^2$.

С момента наступления максимальной разности влагосодержаний поле влагосодержаний по толщине пластины установится по параболе (например, по параболе *P*, рис. 80, *б*). Пропорционально изменению влагосодержания материала должна происходить его усадка, как это следует из рис. 12. В силу этого торец *b—b* изделия должен был бы изогнуться и принять очертание параболы. Фактически этого не наблюдается, и усадка по всей толщине пластины произойдет только на величину усадки в центральной плоскости пластины, т. е. только на величину ΔS_1. Торец *b—b* пластины переместится вправо, параллельно самому себе и займет положение *a—a*. Поверхностные слои, которые пропорционально их влагосодержанию должны были бы иметь усадку, равную $\Delta S_1+\Delta S$, фактически дали усадку лишь на величину ΔS_1. Величина же ΔS явилась в данном случае недопущенной усадкой. Поэтому в рассматриваемый нами момент длина пограничных слоев пластины оказалась больше, чем она должна была бы быть, согласно влагосодержанию, на величину недопущенной усадки ΔS, и как следствие пограничные слои при этих условиях растянулись и удлинились на величину ΔS.

Но деформация растяжения (без трещин) может происходить лишь в известных пределах, а именно на величину, соответствующую относительному удлинению при растяжении ε. Иначе пограничные слои будут разрываться и возникнут трещины. Чтобы предотвратить их, надо проводить сушку так, чтобы относительная деформация растяжения поверхностного слоя изделия была бы не больше величины ε, иначе говоря, чтобы недопущенная усадка ΔS не превышала величины ε. Следовательно, должно выполняться соотношение

$$\Delta S \leqslant \varepsilon. \quad (49)$$

Согласно принятому ранее условию вершина параболы характеризует влагосодержание в центральной плоскости пластины, а точки пересечения параболической кривой с симметричными поверхностями пластины — влагосодержание ее поверхности. Тогда величина ΔS будет пропорциональна разности влагосодержаний в центре $U_ц$ и на поверхности $U_п$, т. е.

$$U_ц - U_п = \rho\Delta S = \rho\varepsilon, \quad (50)$$

где ρ — удельная влагоотдача на 1% усадки;

$$\rho = \frac{\overline{U}_0 - U_{кр}}{У_{от}}100. \quad (51)$$

Следовательно, условие, при котором на изделии не возникнут трещины, можно математически выразить так:

$$U_ц - U_п \leqslant \frac{\varepsilon (\bar{U}_0 - U_{кр})}{У_{от}}. \quad (52)$$

В нашем примере допустимый перепад влагосодержаний составит

$$U_ц - U_п = \frac{2(0,28-0,12)}{8} = 0,04 \; кг/кг.$$

Далее по уравнению (45) находим гигрометрический критерий Кирпичева

$$К_i' = 2\frac{U_ц - U_п}{\bar{U}_0} = \frac{2\cdot 0,04}{0,28} = 0,286.$$

По уравнению (46) находим мощность потока влаги

$$q' = \frac{К_i' a' \gamma_м \bar{U}_0}{R} = \frac{0,286\cdot 6\cdot 10^{-5}\cdot 1,8\cdot 10^3\cdot 0,28}{0,05} = 0,173 \; кг/м^2\cdot ч.$$

Наконец, по уравнению (48) находим срок сушки

$$\tau = \frac{\Delta G}{q' F_м} = \frac{1,8}{0,173\cdot 0,16} = 65,1 \; ч.$$

Если в разобранном примере сушку форсировать, то должна появиться трещина. Допустим, что при тех же условиях рассмотренной задачи режим сушки был таков, что он обусловливал мощность потока влаги не 0,173, а 0,2 $кг/м^2 \cdot ч$. Это отразится на сроке сушки и качестве изделия следующим образом.

Срок сушки будет уже не 65,1 *ч*, а

$$\tau_1 = \frac{1,8}{0,2\cdot 0,16} = 56,2 \; ч;$$

$$К_{i_1}' = \frac{0,2\cdot 0,05}{6\cdot 10^{-5}\cdot 1,8\cdot 10^3\cdot 0,28} = 0,334.$$

Откуда

$$U_ц - U_п = 0,5, \quad К_{i_1}' \bar{U}_0 = 0,5\cdot 0,334\cdot 0,28 = 0,0466,$$

или

$$U_ц - U_п = 4,66\%.$$

В нашем примере

$$\bar{U}_0 - U_{кр} = 0,28 - 0,12 = 0,16 \; кг/кг.$$

Полное сокращение размера изделия, имеющего длину $2R_3 = 400$ *мм*, при относительной усадке $У_{от} = 8\%$ составит

$$\Delta l = 0,08 \cdot 400 = 32 \; мм,$$

а сокращение длины изделия на 1 *мм* будет сопровождаться уменьшением влагосодержания на

$$\rho' = \frac{0,16}{32} = 0,05 \; кг \; кг\cdot мм, \text{ или } \rho' = 0,5\%/мм.$$

Поэтому при перепаде влажности 4,66% недопущенная усадка должна была бы составить

$$\Delta S_1 = 4,66 \cdot 0,5 = 9,32 \; мм.$$

Между тем максимально возможное удлинение нашего образца длиной 400 *мм* при растяжимости $\varepsilon = 2\%$ составляет всего $400 \cdot 0,02 = 8$ *мм*. Так как недопущенная усадка получилась больше возможного растяжения, то неизбежно возникает трещина; ширина ее на поверхности изделия будет равна 9,32—8=1,32 *мм*. Глубину этой трещины можно определить исходя из следующих рассуждений. Этой трещины могло бы не быть, если бы половина толщины пластины R_1' была не более 50 *мм*, а меньше, а именно

$$R_1' = \frac{0,286\cdot 6\cdot 10^{-5}\cdot 1,8\cdot 10^3\cdot 0,28}{0,2} = 0,0425 \; м, \text{ или } 42,5 \; мм.$$

Отсюда глубина трещины будет 50—42,5=7,5 *мм*.

Изложенные методы пригодны лишь для индивидуальной или однорядной сушки изделий. При штабельной сушке более надежны методы расчета режима, основанные на закономерностях теории вероятности. Такой метод разработан во ВНИИСТРОМ [66]. Порядок расчета по этому методу таков.

1. Замеряется производительность вытяжных вентиляторов V_2, средняя температура теплоносителя, покидающего садку сырца t, температура воздуха t_0, подсасываемого в туннели на их загрузочных сторонах, температура отходящих газов t_2. Схема взаимного расположения точек измерения температур приведена на рис. 81.

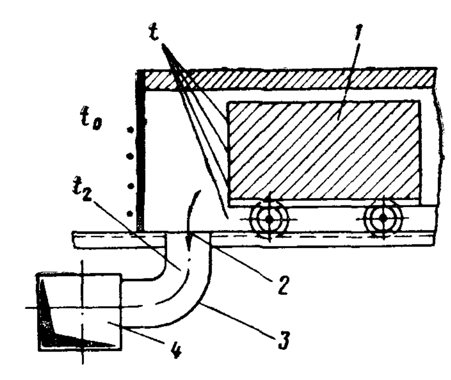


Рис. 81. Схема взаимного расположения точек измерения температур

1 — садка; *2* — выход теплоносителя; *3* — канал; *4* — коллектор

2. Вычисляется коэффициент разбавления отработанных газов, подсасываемых воздухом K, и часовой расход теплоносителя, проходящего через садку, по формулам

$$K = \frac{t_2 - t_0}{t - t_0}; \quad (53)$$

$$V = V_2 K. \quad (54)$$

3. Определяется по многократным взвешиваниям средний начальный $G_н$ и конечный $G_к$ вес сырца и средняя влагоотдача ΔG

$$\Delta G = G_к - G_н. \tag{55}$$

4. Вычисляется прирост влагосодержания теплоносителя по формуле

$$\Delta d = \frac{N \Delta G}{V \gamma_0}, \tag{56}$$

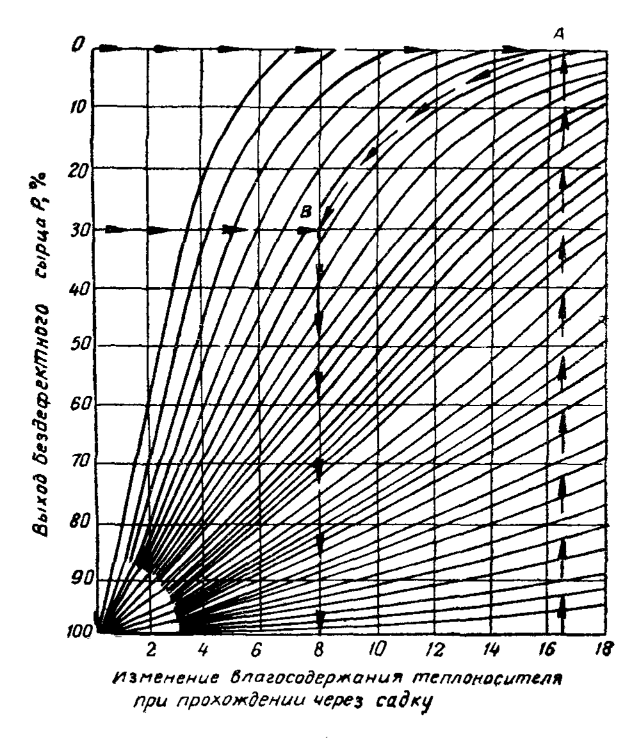


Рис. 82. Номограмма зависимости выхода бездефектного сырца от изменения влагосодержания теплоносителя

где N — часовая производительность сушилки в шт. изделий;
γ_0 — объемный вес воздуха при нормальных условиях; $\gamma_0 = 1{,}293$ *кг/м³*.

5. Производится многократная разбраковка высушенного сырца и определяется величина P — выход бездефектной продукции в % при зафиксированном приросте влагосодержания Δd.

6. По номограмме рис. 82 находится точка A, соответствующая фактическому выходу бездефектной продукции P при замеренном приросте влагосодержания Δd.

7. Задаются желаемым выходом бездефектной продукции в %, обозначая эту величину через P^*.

8. Двигаясь от точки A вдоль ближайшей кривой номограммы (рис. 82), находят точку B, соответствующую заданному P^*. При этом надо иметь в виду, что отсчет по ординате этой номограммы ведется сверху вниз. Номограмма рис. 82 рассчитана по закономерностям теории вероятности и действительна для любого вида керамических изделий.

9. По найденной точке B находят на оси абсцисс номограммы прирост влагосодержания Δd^* в новом (искомом) режиме.

10. Определяют расход теплоносителя при новом режиме V^* по формуле

$$V^* = \frac{N^* \Delta G^*}{\Delta d^* \gamma}, \tag{57}$$

где N^*, ΔG^* — соответственно производительность сушилки и влагоотдача сырца в новом режиме.

11. Находится влагосодержание и температура теплоносителя, подаваемого в сушилку, в новом режиме по формулам:

$$d_1^* = d_1 - \Delta d^*; \tag{58}$$

$$\Delta t^* = \Delta t \frac{\Delta d^*}{\Delta d}; \tag{59}$$

$$t_1^* = t_1 + \Delta t^*, \tag{60}$$

где Δt и Δt^* — разность между температурами теплоносителя, поступающего в сушилку t_1 и покидающего сушилку t_2 в новом режиме.

Как видно из формулы (58), уменьшение величины Δd^* сравнительно с величиной Δd вызывает необходимость соответствующего увеличения влагосодержания теплоносителя, поступающего в сушилку. Если это осуществляется за счет применения рециркуляции отработанного теплоносителя, то количество подаваемого рециркулята $V_р$ рассчитывают по формуле

$$V_р = \frac{V^*}{K} \cdot \frac{d^* - d_1}{d_2 - d_1}, \tag{61}$$

где d_1 — влагосодержание теплоносителя, подаваемого в сушилку при существующем режиме; d_2 — влагосодержание отходящих газов при существующем режиме (после разбавления теплоносителя, покидающего садку, подсасываемым наружным воздухом).

§ 2. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОРОКОВ СУШКИ

На основе рассмотренных физических закономерностей процесса образования трещин при сушке керамических

изделий можно общую зависимость для трещиностойкости сохнущего изделия записать в виде следующего выражения:

$$T_c = f\left[\frac{R, \varepsilon, a', P_c}{\alpha_y, \alpha', P_п}\right], \tag{62}$$

где R — предел прочности материала; ε — растяжимость; a' — коэффициент потенциалопроводности; $\alpha_у$ — коэффициент усадки; α' — коэффициент внешнего влагообмена; $P_п$ — давление (упругость) водяного пара на поверхности сохнущего изделия; P_c — упругость водяного пара в окружающей среде.

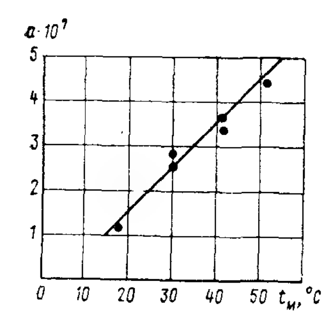


Рис. 83. Зависимость коэффициента потенциалопроводности глины от ее температуры

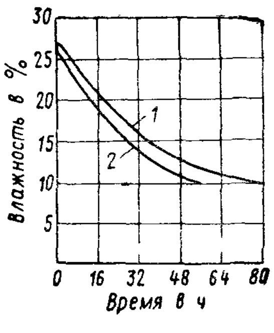


Рис. 84. Влияние пароувлажиения на продолжительность сушки глиняного кирпича при $t_c=46°$ С и $\omega=1$ *м/сек*

1 — без пароувлажнения при $\varphi=88\%$; *2* — с пароувлажнением при $\varphi=76\%$

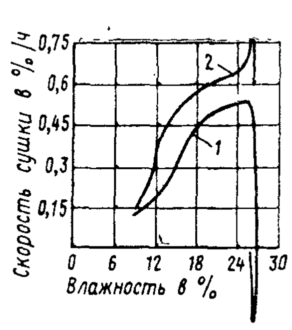


Рис. 85. Влияние парового увлажнения на скорость сушки глиняного кирпича при $\omega=2$ *м/сек*

1 — без пароувлажнения, $t_c=46°$ С, $\varphi=88\%$; *2* — с пароувлажнением, $t_c=46°$ С, $\varphi=76\%$

Осуществляя мероприятия, повышающие численные величины характеристик, входящих в числитель, и уменьшающие эти величины для характеристик, входящих в знаменатель выражения (62), можно добиться существенного повышения трещиностойкости изделий в сушке.

Мероприятия, которые применяют для улучшения сушильных свойств сформованных керамических изделий, разобраны ниже.

Паровое увлажнение глины повышает начальную температуру изделия, вследствие чего возрастает коэффициент потенциалопроводности a'. Увеличение коэффициента потенциалопроводности пропорционально температуре материала [65] (рис. 83). По другим данным [67], влияние температуры на коэффициент потенциалопроводности глины определяется соотношением

$$\frac{a_1'}{a_2'} = \left(\frac{t_{м_1}}{t_{м_2}}\right)^{1,3}. \tag{63}$$

Паровое увлажнение глины обусловливает также однозначность температурных и влажностных градиентов в уравнении (43). Это означает, что термодиффузия будет ускорять процесс перемещения влаги в материале вследствие совпадения направлений потока тепла и влаги в материале.

Результативное влияние парового увлажнения на продолжительность и скорость сушки приведено на рис. 84 и 85 [65]. Рис. 84 показывает, что при паровом увлажнении глины сокращается срок сушки сформованного из нее изделия. Из рис. 85 видно, что при отсутствии парового увлажнения в первый момент процесса происходит не сушка, а наувлажнение изделия — конденсация влаги из теплоносителя (скорость сушки имеет отрицательную величину). Изделия, сформованные из пароувлажненной глины, начинают сохнуть сразу, с первого момента их взаимодействия с теплоносителем.

Прогрев глины в сушильном барабане и в установках типа «Бедекалор» перед формованием действует аналогично паровому увлажнению и применяется для глин с карьерной влажностью выше формовочной [26].

Отощение глин снижает усадку, уменьшая величину $\alpha_у$ в уравнении (62), и увеличивает коэффициент потенциалопроводности. Влияние степени отощения на усадку кирпичной глины приведено на рис. 86 [65].

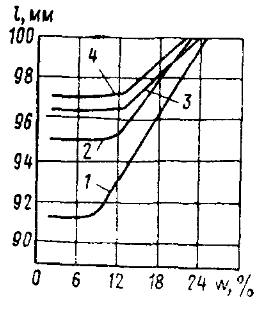


Рис. 86. Влияние добавки шамота на усадку малоярославецких глин

1 — без отощителя; *2* — с добавкой 20% шамота; *3* — то же, 30% шамота; *4* — то же, 40% шамота

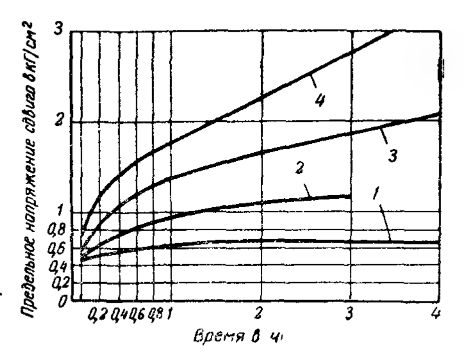


Рис. 87. Влияние добавки гипса на предельное напряжение глиняной массы при сдвиге

Добавка гипса: *1* — 0%; *2* — 1%; *3* — 3%; *4* — 5%

Добавка опилок является одним из наиболее эффективных средств повышения трещиностойкости кирпича-сырца в сушке. Благоприятное влияние опилок, по-видимому, объясняется их армирующим действием, поскольку длина зерен опилок на несколько порядков больше, чем длина глинистых частиц. Арми-

рующее действие их обусловливает возрастание величины R в уравнении (62).

Вакуумирование глины обусловливает возрастание ее прочности и растяжимости, что дает возможность применять более жесткие режимы, ускоряющие процесс сушки.

Добавка в глину гипса также повышает прочность сформованных изделий. Возрастание предельного напряжения сдвига при добавке в глину гипса представлено по опытам автора [68] на рис. 87.

Орошение мундштука влагозадерживающими составами. В качестве влагозадерживающей смазки ранее применялась нефть, а в настоящее время некоторые заводы используют отработанное машинное масло. Влагозадерживающая смазка понижает коэффициент влагоотдачи α' в уравнении (62) и тем самым понижает величину перепадов влагосодержания в толще изделия. По данным М. И. Хигеровича [69], при орошении мундштука влагозадерживающими составами количество бездефектного, высушенного в искусственной камерной сушилке сырца возросло с 58 до 97%.

Накатка сырца [70] уплотняет поверхностные слои изделия, упрочняя их, и, кроме того, понижает коэффициент влагоотдачи α', способствуя уменьшению перепадов влагосодержаний по толщине изделия. Практика сушки кирпича-сырца с накатанной поверхностью подтвердила его повышенную трещиностойкость в сушке.

Добавка в глину керосина в количестве 0,5% веса сухой глины применяется за рубежом для улучшения сушильных свойств глины. Действуя как поверхностно-активная добавка, керосин переводит часть связанной воды в свободную, повышая ее влагопроводные свойства — коэффициент a' в уравнении (62).

Добавка высокопластичной глины улучшает сушильные свойства тощих зашлюфованных глин, повышая их прочность. Особенно эффективна такая добавка при сушке плоских тонкостенных изделий, например черепицы. По этим же соображениям иногда приходится увеличивать содержание глинистой части в литейных шликерах для предотвращения трещин в отливках.

Рециркуляция отработанного теплоносителя повышает начальное парциальное давление водяных паров в нем — величину P_c в уравнении (62) и тем самым притормаживает интенсивность внешнего влагообмена, уменьшая перепад влагосодержаний в толще высушиваемого изделия.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ
ОБЖИГ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В технологии керамических изделий обжиг является завершающей и наиболее ответственной стадией их изготовления. В процессе обжига формируются наиболее важные

свойства керамического материала, определяющие его техническую ценность: прочность, плотность, водостойкость, морозостойкость и др. Пороки обжига являются необратимыми дефектами в изделии. Они не поддаются последующему устранению и потому в большинстве случаев дефекты обжига определяют качество готовой продукции — сортность и количество брака.

Велико также влияние результатов обжига на экономику производства. Об этом свидетельствуют довольно значительные удельные весовые расходы топлива, которые в пересчете на 1 *т* готовой продукции составляют в среднем: для санитарно-строительных изделий 1300, облицовочных глазурованных плиток 1000, электротехнического фарфора 1000, кислотоупорных изделий, канализационных труб и плиток для полов 250 и стеновой керамики 45 *кг*. Суммарные затраты на обжиг достигают 35—40%, а потери от брака — почти 10% себестоимости товарной продукции.

Квалифицированное ведение обжига требует знания тех изменений, которые происходят в керамической массе при этом процессе, и знания закономерностей, которые управляют процессом формирования конечных свойств керамического черепка. Все это составляет основу теории обжига.

§ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИГА

1. Процессы, происходящие в керамических материалах при обжиге

При обжиге, т. е. воздействии высоких температур на глинистые материалы, в них происходят сложные физические, химические и физико-химические изменения, в результате которых обожженный материал приобретает камнеподобные свойства: высокую механическую прочность, водостойкость и морозостойкость. Изменения происходят в самих глинообразующих минералах, в примесях, содержащихся в глине, и в добавках, вводимых в керамическую шихту. Кроме того, при обжиге происходит взаимодействие продуктов распада глинообразующих минералов с остальными компонентами шихты.

Изменения каолинита при нагревании удобней всего проследить на комплексной термограмме нагрева каолина (рис. 88) [71]. Дифференциальная кривая на этом рисунке характеризует изменение теплосодержания испытуемого образца по сравнению с образцом, в котором никаких термохимических процессов не происходит. Горизонтальные участки этой кривой соответствуют отсутствию каких-либо термохимических процессов в испытуемом образце. Положительные пики свидетельствуют об экзотермии процесса, т. е. о выделении тепла в испытуемом образ-

це, и вследствие этого — увеличении ее температуры по сравнению с эталонным образцом. «Провалы» — отрицательные пики на дифференциальной кривой — соответствуют эндотермическим процессам, которые сопровождаются поглощением тепла и, следовательно, понижением температуры испытуемого образца по сравнению с эталонным.

Рассмотрим эту диаграмму. Первый провал на дифференциальной кривой мы видим при температуре 130° С. Он соответст-

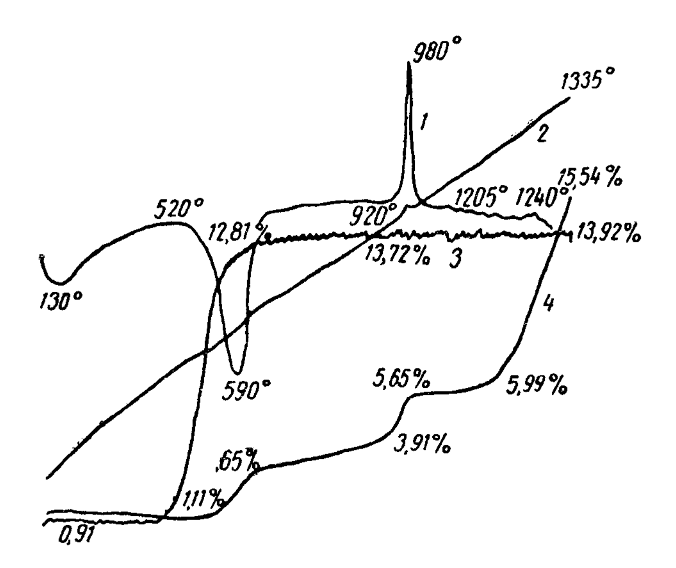


Рис. 88 Комплексная термограмма глуховецкого каолина (по Г. Н. Воронкову)

1 — дифференциальная кривая; *2* — температурная кривая печной среды; *3* — кривая потерь в весе в %; *4* — кривая усадки в %

вует испарению из каолина адсорбционно связанной воды. В интервале 520—590° С отмечается второй провал, соответствующий отщеплению и удалению из каолинита химически связанной (гидратной) воды. Об этом же свидетельствует и кривая потери веса. Удаление гидратной воды сопровождается небольшой усадкой материала (см. кривую *4*). В результате дегидратации каолинита образуется метакаолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, имеющий скрыто-кристаллическое, почти аморфное строение. В интервале температур 550—830° С метакаолинит распадается на первичные окислы с образованием γ-глинозема и кремнезема. Этот процесс на рассматриваемой диаграмме не отражен. В интервале температур 920—980° С на диаграмме отмечается резкий экзотермический пик. В этом интервале γ-глинозем перекристаллизовывается в α-глинозем и начинает выкристаллизовываться новый минерал — муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, содержание

которого возрастает с повышением температуры. Муллит придает наиболее ценные качества обожженному керамическому материалу: прочность, термостойкость, ударную вязкость. Как показывает кривая *4*, в этом же температурном интервале наступает второй этап усадки. В интервале температур 1205—1240° С отмечается еще один слабый экзотермический эффект, который является результатом кристаллизации кристобалита из аморфного кремнезема, оставшегося от формирования муллита. В этом температурном интервале отмечается и наиболее интенсивная усадка.

В других глинообразующих минералах отмечаются сдвиги температурных интервалов, соответствующих рассмотренным фазовым изменениям. Так, удаление физически связанной и аллофаноидной воды может происходить в интервале 110—250° С и сопровождается сморщиванием гелевых пленок на глинистых частицах. Дегидратация монтмориллонитовых глин происходит при более высоких температурах, чем каолинитовых, У гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин в интервале 850—1200° С наряду с процессом муллитизации происходит образование шпинелей, которые при 1300° С растворяются в стекле. Кроме того, все фазовые превращения смещаются в область более высоких температур по мере возрастания скорости нагрева и увеличения размеров изделия.

Как уже отмечалось, все глинистые минералы являются водными алюмосиликатами. Поэтому фазовый состав керамических материалов при их обжиге в известной мере определяется диаграммой состояния Al_2O_3—SiO_2, представленной на рис. 89 [72]. Наиболее низкоплавкой точкой является эвтектика между кристобалитом и муллитом, соответствующая температуре 1595° С. Жидкость при этой температуре содержит 94% SiO_2. Как это видно из диаграммы и как это справедливо указал впервые А. И. Августиник [73], с увеличением содержания Al_2O_3 в системе возрастает интервал плавкости — разность между температурами полного расплавления смеси и эвтектической температурой. Возрастание интервала плавкости обусловливает, в свою очередь, увеличение интервала спекания глин по мере увеличения отношения $Al_2O_3 : SiO_2$, что и было подтверждено испытаниями ряда огнеупорных глин.

В примесях и добавках происходят также важные изменения при обжиге керамической массы.

Важнейшей составляющей многих керамических масс является кристаллический кремнезем. Во многих глинах он присутствует в виде примеси — кварцевого песка, а в некоторые массы вводится в виде добавки кварца и пегматита. При нагревании кремнезем претерпевает модификационные превращения, практическая схема которых приведена на рис. 90. Рассмотрим эту схему. Наиболее часто встречающийся в природе кремнезем в форме β-кварца при 575° С переходит в α-кварц с увеличением

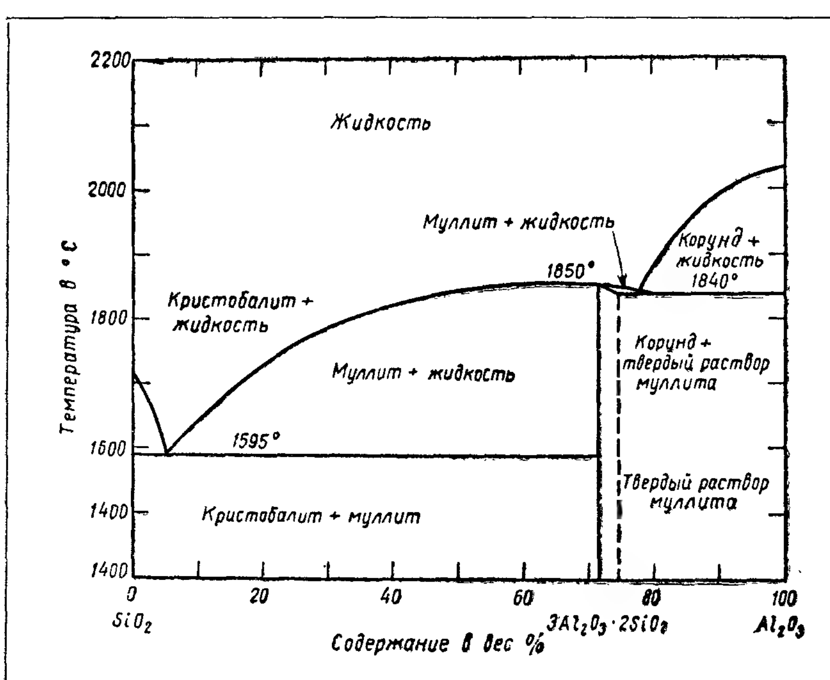


Рис. 89. Бинарная система Al_2O_3—SiO_2 по Армаки и Рою

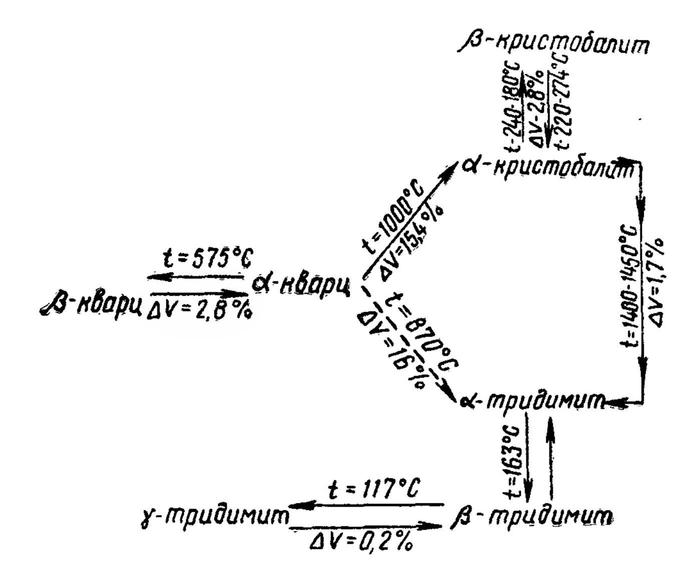


Рис. 90. Практическая схема модификационных превращений кремнезема при обжиге керамических изделий

объема на 2,8%. Этот переход обратим (на что указывают параллельные стрелки) и протекает мгновенно. Форма α-кварца устойчиво существует до 1000° С. Поэтому если изделие обожжено при температуре ниже 1000° С, то при охлаждении α-кварц будет при температуре 575° С переходить в β-кварц с уменьшением объема.

При температуре выше 1000° С α-кварц переходит в α-кристобалит с очень значительным увеличением в объеме. Этот переход необратим, происходит довольно медленно и трудно и существенно интенсифицируется при температуре 1200—1300° С. Форма α-кристобалита устойчиво существует до 1400° С. Поэтому изделия с конечной температурой обжига в интервале 1000—1400° С будут содержать как α-кристобалит, так и α-кварц, которые при охлаждении соответственно перейдут в β-кристобалит и β-кварц. Переход кристобалита из α- в β-форму обратим, но происходит при различных температурах. Если керамическое изделие, обожженное при температуре выше 1000° С, подвергнуть вторичному нагреву (например, керамический капсель, фарфоровое или фаянсовое изделие при двукратном обжиге и т. п.), то в интервале 220—274° С β-кристобалит будет переходить в α-кристобалит. При охлаждении обжигаемого изделия α-кристобалит переходит в β-кристобалит при 240—180° С.

В интервале температур 1400—1450° С α-кристобалит переходит в α-тридимит с объемным увеличением 1,7%. Этот переход также необратим, совершается медленно и трудно. α-тридимит при температуре 163° С переходит в β-тридимит с объемным сжатием 0,2%, а последний при 117° С — в γ-тридимит с таким же объемным сжатием. Оба эти превращения обратимы и сопровождаются незначительными изменениями объемов.

При очень медленном и длительном нагревании при 870° С α-кварц может переходить непосредственно в α-тридимит, минуя форму кристобалита. Однако в условиях обжига керамических изделий в промышленных печах этот переход практически неосуществим (пунктирная стрелка на схеме).

Модификационные превращения в пределах одноименной кристаллической формы происходят легко и почти мгновенно. Это объясняется тем, что такие переходы сопровождаются лишь некоторым смещением атомов в кристаллической решетке, в то время как при переходе в разноименную форму происходит глубокое структурное изменение в кристаллической решетке с разрывом связей. Схемы перестройки кристаллической решетки за счет смещения структурных элементов и с разрывом связей приведены на рис. 91.

Наличие примесей и жидких расплавов ускоряет модификационные превращения кремнезема и обеспечивает их бóльшую полноту.

Поскольку модификационные превращения кремнезема со-

провождаются значительными объемными изменениями, то они оказывают существенное, иногда даже решающее влияние на прочность и целостность обожженного керамического изделия. Наибольшее значение при этом имеет переход кварца из одной

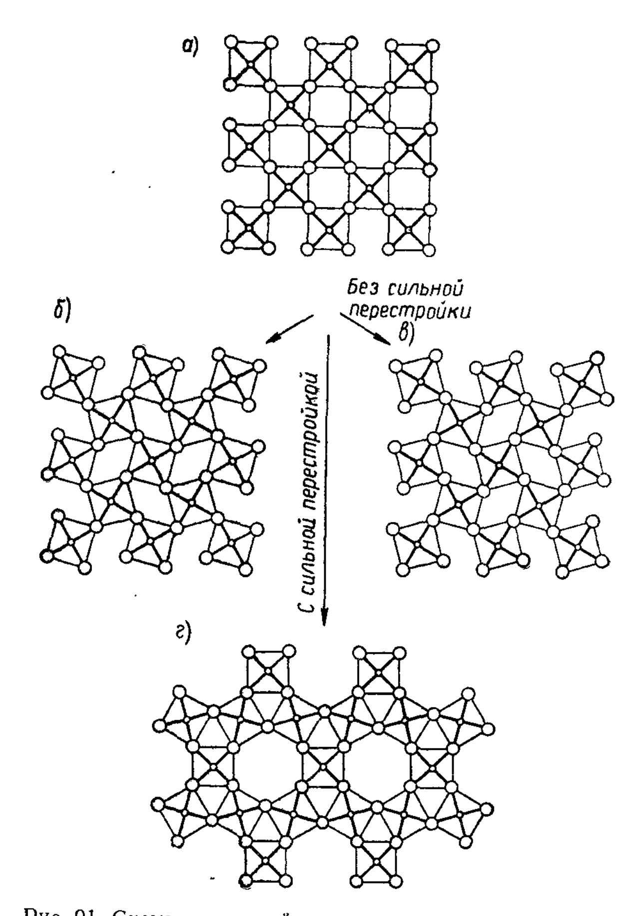


Рис. 91. Схемы перестройки кристаллической решетки

а — исходное положение; *б* и *в* — переход в другие формы без сильной перестройки за счет смещения структурных элементов; *г* — переход в другую форму с разрывом связей (сильная перестройка)

формы в другую, переход кварца в кристобалит и переход последнего из одной формы в другую.

Во многих глинах в качестве примесей встречаются карбонаты кальция и магния. В некоторые керамические массы они вводятся в качества добавок. Карбонат кальция интенсивно диссоциирует в керамических массах при температуре 900—

950° С, выделяя углекислый газ. Если в этот период керамический черепок является пористым и достаточно газопроницаемым, то диссоциация карбонатов увеличивает пористость обожженных изделий, не причиняя им какого-либо вреда. Если же керамический черепок получил сильное уплотнение до начала интенсивного разложения карбонатов, то выделяющийся углекислый газ может явиться причиной образовання пузырей, вспучивания и других пороков в обжигаемых изделиях.

Железистые примеси присутствуют в значительных количествах преимущественно в легкоплавких глинах в виде окисных соединений. При обжиге изделий в окислительной среде окисные соединения железа не оказывают заметного влияния на качество обожженных изделий, обусловливая лишь их окраску от кремовых до красных тонов. Однако при обжиге в воссстановительной среде, либо при обжиге масс с наличием в их составе органических примесей или добавок, окисные соединения уже при температуре ниже 1000° С интенсивно восстанавливаются в закисные. Последние, обладая большой реакционной способностью, образуют легкоплавкие железистые стекла (эвтектоидные расплавы), способствуя уплотнению керамического черепка. Выделяющиеся при этих реакциях газы могут явиться источником вспучивания обжигаемого изделия, если оно не обладает достаточной открытой пористостью для их выхода.

В фарфоровых и фаянсовых массах встречаются иногда точечные примеси железа, которые вызывают появление на обожженных изделиях точечных черных пятен («мушка»). Сернистые соединения железа, которые встречаются преимущественно в огнеупорных глинах, дают на обожженных изделиях выплавки.

В фаянсовых и фарфоровых массах содержится в значительных количествах полевой шпат. Расплавляясь при температурах 1150—1170° С, он образует легкоплавкие стекла, способствующие уплотнению и упрочнению керамического черепка. Замена полевым шпатом кварца понижает температуру спекания черепка.

Органические вещества встречаются в глинах в виде примесей, а в производстве кирпича вводятся в качестве топливных добавок (уголь, кокс, опилки). Выгорание их в керамических массах проходит в несколько этапов. При температурах 350—400° С выделяются и сгорают летучие. Коксовый остаток выгорает сравнительно медленно при более высоких температурах (700—800° С). Скорость его выгорания [74] обратно пропорциональна квадрату толщины изделия и в сильной степени зависит от избытка воздуха в печных газах. Это выгорание должно быть завершено в период, когда вся толща керамического черепка является пористой и газопроницаемой, с тем чтобы образующиеся газы могли свободно удаляться из толщи керамического изделия. Если же процесс уплотнения периферийной

оболочки изделия будет опережать процесс выгорания коксового остатка, то газы, создавая повышенное давление внутри керамического черепка, могут вызвать деформацию размягченного изделия, а «прорывы» газов в отдельных местах приводят к образованию трещин. Внутри черепка в этом случае остается черная сердцевина, которая свидетельствует либо о наличии невыгоревшего углерода, либо о восстановлении железистых окислов до металлического железа.

Таковы процессы, происходящие в глинообразующих минералах, главнейших примесях и добавках при обжиге керамических масс. Все эти процессы не происходят локально, т. е. независимо друг от друга. В действительности они в значительной мере взаимосвязаны и накладываются друг на друга, что еще больше усложняет картину превращений, наблюдающихся в керамической массе при обжиге. Важнейшим результатом взаимодействия различных компонентов массы при обжиге является процесс спекания керамической массы, в результате которого формируются свойства керамического черепка.

Как уже отмечалось, под спеканием обычно понимают процесс уплотнения керамического черепка и связывания отдельных зерен керамической массы в единый монолит, в результате чего обожженный черепок становится неразмываемым в воде и приобретает значительную механическую прочность. Спекание керамических масс может происходить в результате нескольких процессов: цементирующего действия эвтектоидных расплавов (жидкостное спекание), реакций в твердой фазе и кристаллизации различных новообразований.

Жидкостное спекание при обжиге керамических масс является наиболее важным процессом, обусловливающим придание камнеподобных свойств изделиям. Образование жидкой фазы, т. е. стекловидных расплавов, в обжигаемых изделиях начинается уже с температуры около 700° С и в последующем интенсивно развивается по мере возрастания температуры обжига. Стекловидные расплавы, по образному выражению А. А. Байкова, являются «цементами высоких температур», которые склеивают в единый монолит отдельные зерна керамической массы. С образованием стекловидных расплавов в них начинают действовать, как и во всякой жидкости, силы поверхностного натяжения, в результате чего отдельные зерна массы сближаются, обусловливая огневую усадку изделий. Образовавшийся стекловидный расплав разъедает зерна более тугоплавких компонентов, вовлекая, таким образом, новые порции твердого вещества в расплав. По мере увеличения количества стекловидного расплава керамическая масса начинает размягчаться, не теряя, однако, способности сохранять форму, приданную изделию ранее. Это состояние соответствует понятию пиропластического состояния массы. При дальнейшем возрастании количества жидкого расплава в массе прочность ее падает настолько,

что изделия начинают деформироваться. Это свидетельствует о пережоге изделий. Признаком пережога является также оплавление (остекловывание) внешней поверхности изделия при сохранении им приданной формы.

Срастание отдельных зерен массы в монолит может происходить также в некоторой степени за счет реакций в твердой фазе и за счет срастания выкристаллизовывающихся новообразований. Самым важным кристаллическим новообразованием при обжиге керамических масс является муллит $3\,Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$, который наиболее интенсивно образуется в интервале 1000—1200° С. При повторном обжиге изделий кристаллы муллита растут, вызывая разрыхление керамического черепка, что, например, является одной из причин постепенного разрушения капселей по мере их использования.

Спекание может еще происходить за счет рекристаллизации первичных соединений, что наиболее характерно для обжига изделий из так называемых чистых окислов (окисная керамика).

Несмотря на то, что в период спекания керамическая масса находится в пиропластическом состоянии и возникающие напряжения должны были бы амортизироваться и гаснуть в размягченной массе, период интенсивной усадки при обжиге изделий из некоторых легкоплавких глин сопровождается возникновением в них разрушающих напряжений, природа которых еще не выяснена [75]. Возможно они возникают в результате неравномерности прогрева, а следовательно, и неодинаковых усадочных деформаций по толщине изделия.

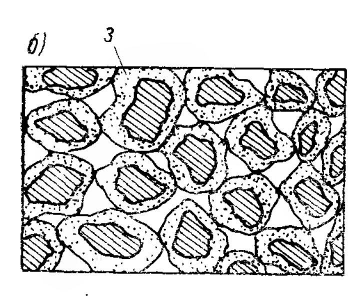
Восстановительная газовая среда резко интенсифицирует процессы спекания и они начинаются при температуре, на 100—120° меньшей, чем обычно. Аналогичным образом действует и среда водяного пара.

Охлаждение изделий сопровождается возникновением в них напряжений в результате перехода материала из пиропластического состояния в хрупкое, модификационных превращений кварца и кристобалита, а также наличия перепада температур в самих изделиях (неоднородное температурное поле). Соответственно этому наиболее опасными температурными интервалами при охлаждении изделий, изготовленных из легкоплавких глин, являются температуры 600—550° С, а изготовленных из других керамических масс — 1200—1000, 600—550 и 240—180° С.

2. Влияние структуры сырца на процесс образования керамического черепка

Механизм образования керамического черепка у изделий пластического и сухого прессования неодинаков. Рассмотрим его различие для легкоплавких глин. Структуру свежесформованного сырца, т. е. структуру пластичного глиняного

теста, в самом схематическом приближении можно представить следующим образом (рис. 92, *а*). Отдельные агрегированные кусочки глины, а главным образом их тощая составляющая часть — кварцевый песок, распределены более или менее равномерно в суспензии коллоидной фракции глины. Дисперсионной средой этой суспензии является водный раствор растворимых солей, содержащихся в глине, а дисперсной фазой — находящаяся в этом растворе во взвешенном состоянии коллоидная фракция глинистых минералов. Эта суспензия наполнена более крупными частицами кварца и агрегированными, не распустившимися в воде, кусочками глины, которые являются как бы «заполнителями» этой суспензии.



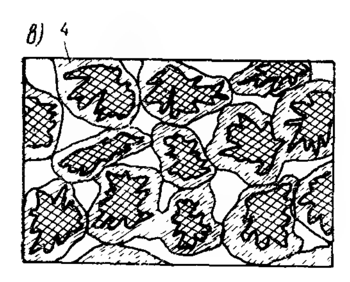


Рис. 92. Схема формирования структуры при обжиге сырца пластического прессования

а — пластическое глиняное тесто; *б* — высушенный сырец; *в* — обожженный керамический черепок; *1* — коллоидная суспензия; *2* — заполнитель; *3* — цементирующая связка; *4* — жидкая фаза

Во время сушки по мере испарения из сырца влаги зерна заполнителя сближаются между собой, контактируясь в отдельных точках и гранях и образуя скелет высушенного изделия. Суспензия, высыхая, осаждает на скелете свою коллоидную фракцию. Таким образом, зерна заполнителя оказываются покрытыми сплошной «обмазкой» из коллоидной фракции глины (рис. 92, *б*). Обмазка является наиболее легкоплавкой частью всей керамической массы, так как в ее составе находятся растворимые соли, имеющие наиболее низкие эвтектические температуры. Эти соли вместе с другими компонентами смеси образуют относительно легкоплавкие соединения. Важным является и то обстоятельство, что при незначительной общей концентрации этих солей в керамической массе местная концентрация их на контактных поверхностях отдельных зерен может достигать существенной величины.

По мере нагревания сырца при достижении эвтектических температур обмазка плавится, образуя стекловидную фазу, которая цементирует контактные поверхности отдельных зерен.

Кроме того, в образовавшемся жидком расплаве частично растворяются поверхностные слои зерен заполнителя, образуя пересыщенные растворы, из которых выкристаллизовываются новые минералообразования, цементирующие скелет в виде кристаллических сростков (рис. 92, *в*).

Жидкая фаза, образующаяся на контактных поверхностях, затекает в трещины и поры и стекает к неконтактировавшимся поверхностям, увеличивая общую величину контактной поверхности.

Очевидно, что количество, состав и состояние жидкой фазы во многом определяют свойства обожженного керамического изделия аналогично тому, как в обычном строительном бетоне его свойства зависят от свойств заполнителя и цементного камня. Так, например, при повышенной вязкости и малой подвижности жидкой фазы затрудняется ее перемещение и цементация еще не склеенных поверхностей, что обусловливает пониженную прочность изделия. Напряженное состояние стекловидной фазы, аналогичное неотожженному стеклу, повышает хрупкость керамического изделия.

По-иному развивается процесс формирования черепка в керамическом изделии сухого прессования. Его можно мыслить себе следующим образом. В массе глиняного порошка, поступающего на прессование, имеются разнородные по влажности агрегированные глиняные частицы, которые имеют различные плотность и твердость. Сами агрегированные частицы глиняного порошка также неоднородны по твердости, так как наряду с пластичной увлажненной массой глинообразующих минералов в них содержатся и более крупные зерна тощего материала, главным образом зерна кварца.

В процессе прессования сырца происходит сначала сближение отдельных агрегированных частиц глины, затем наступает их деформация, а в последней стадии прессования более твердые частицы глины вдавливаются в более мягкие. Более сухие частицы глины проникают в более мягкие увлажненные частицы. Точно так же и более твердые зерна кварца вдавливаются в более мягкие агрегированные частицы глины. Возникающие при этом большие силы трения обусловливают прочное сцепление отдельных глиняных частиц в единый агрегированный сросток. Однако в нем отдельные частицы глины все же имеют между собой поверхности раздела, что коренным образом отличает эту структуру от структуры сырца пластического прессования, имеющего сплошную массу «коллоидального вяжущего».

Итак, сырец сухого прессования не представляет собой «сплошной» коллоидной суспензии с распределенными в ней зернами заполнителя. При сухом прессовании «массив» сырца образуется механическим соединением отдельных зерен керамического порошка, каждое зерно имеет структуру, аналогичную пластичному тесту, а в сырце между ними остаются по-

верхности раздела, несмотря на кажущееся сильное взаимодействие между зернами порошка при его прессовании.

В сырце сухого прессования существенно изменяется роль коллоидной фракции. Она уже не является сплошной паутинообразной обмазкой твердых минералов и агрегированных частиц глины, она действует главным образом не на контактных поверхностях частиц, а внутри самих частиц. Таким образом, коллоидная фракция агрегирует первичные зерна минералов в глинистую частицу, а не цементирует спрессованные частицы друг с другом. При таком размещении коллоидной фракции

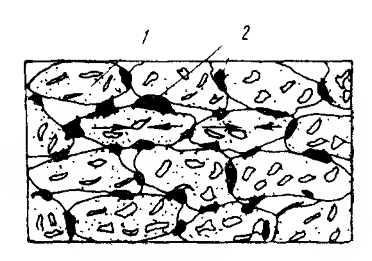


Рис. 93. Схема структуры обожженного черепка сухого прессования

1 — глинистые агрегаты; 2 — жидкая фаза, цементирующая глинистые агрегаты контактным спеканием. Стрелками показано направление усадочных деформаций отдельных гранул порошка

жидкая фаза при обжиге развивается в первую очередь не на контактных поверхностях глиняных агрегатов, а внутри их, не обеспечивая должной цементации агрегатов между собой. При обжиге сырца на контактных поверхностях глинистых агрегатов возникает относительно небольшое количество жидкой фазы, оно не обеспечивает сплошной цементации контакных поверхностей и цементация носит характер контактного спекания, аналогичного «точечной сварке» (рис. 93). Этим объясняется пониженная сопротивляемость изделий сухого прессования изгибу.

Ослаблению контактов между спрессованными глинистыми агрегатами способствует и своеобразный характер усадки в сырце сухого прессования. Это своеобразие заключается в том, что каждая частица глины претерпевает усадку локально и вследствие этого сокращается в размерах не весь массив сырца, а в отдельности каждая частица, отодвигаясь от соседней. Таким образом, усадочные явления в сырце сухого прессования обусловят появление напряжений и трещин на поверхностях раздела спрессованных глиняных частиц. Для заполнения этих трещин жидкой фазой необходимо повышенное ее количество, которое возможно получить лишь за счет повышения температуры обжига. Своебразие структуры и механизма формирования керамического черепка сухого прессования обусловливает его пониженное сопротивление изгибу, повышенную водо- и газопроницаемость, необходимость более высоких температур обжига и, в связи с этим, применения керамических масс с большим интервалом спекания.

§ 2. РЕЖИМ ОБЖИГА ИЗДЕЛИЙ

Под режимом обжига понимают обычно зависимость между температурой и временем обжига (температурный режим) и между химическим характером печной среды и временем обжига (газовый режим). Печная среда является восстановительной при избытке кислорода до 1%, нейтральной — 1,5—2%, окислительной — 2—5% и сильно окислительной — до 10%. Изменение давления газов в рабочей камере печи или в отдельных ее зонах не может считаться режимным параметром, так как то или иное соотношение давлений является лишь средством для достижения заданного температурного или газового режима и не оказывает самостоятельного воздействия на процесс обжига.

Весь процесс обжига в наиболее общем случае делят на три периода: нагрев до конечной температуры обжига, выдержка при конечной температуре и остывание. Для каждого из этих периодов отдельно устанавливается режим. Режимы обжига сугубо специализированы для отдельных видов керамических изделий.

Большая сложность, а в некоторых случаях и недостаточная ясность процессов, происходящих при обжиге керамических изделий, сильно затрудняет создание надежной аналитической теории для расчетного определения наиболее коротких, но вместе с тем и безопасных для изделия температурных режимов обжига.

Поэтому существующие для этой цели расчетные зависимости носят полуэмпирический характер. Одним из методов определения режима обжига является следующий [76]. Опытным путем для каждого участка температурной кривой определяется кажущийся коэффициент температуропроводности $a_к$ и максимально допустимый перепад температур между поверхностью и центром образца, имеющего форму, подобную обжигаемому изделию. Затем рассчитывается допустимая скорость нагревания изделия по формуле

$$\omega_t = \frac{a_к K_ф \Delta t_1}{R^2} \text{ град/ч}, \quad (64)$$

где $K_ф$ — коэффициент формы; для бесконечного цилиндра $K_ф = 4$; $\Delta t_1 = (t_п - t_ц)$ — допустимый перепад температур между поверхностью образца $t_п$ и его центром $t_ц$ для рассчитываемого участка температурной кривой обжига; R — характерный размер изделия в $м$; для цилиндра и шара — радиус, для пластины — половина толщины.

Время, необходимое для нагрева изделия, определяется по формуле

$$\Delta\tau_1 = \frac{\Delta t_2}{\omega_t} \text{ ч}, \quad (65)$$

где $\Delta t_2 = t_к - t_н$; $t_н$, $t_к$ — соответственно начальная и конечная температуры рассчитываемого участка температурной кривой.

Другие авторы предложили иные формулы для расчета температурного режима. Однако все они еще не получили применения в практике проектирования печей, и, как правило, режим обжига определяется путем полузаводских испытаний, т. е. пробных обжигов опытных партий изделий. Указанные расчетные зависимости могут быть при этом использованы в качестве ориентиров для назначения опытных режимов, подлежащих проверке, с тем чтобы сузить количество попыток, которые приходится делать при опытных обжигах для отыскания его оптимального режима.

Общие соображения, которые необходимо учитывать при выборе режима обжига, сводятся к следующему.

На начальном участке температурной кривой обжиг следует замедлять по мере возрастания влажности сырца. Давление водяных паров внутри нагреваемого изделия достигает значительных величин уже при температуре 70° С (а не 100—110° С, как это обычно полагают) и прогрессирующе возрастает с увеличением температуры. Поэтому если скорость парообразования внутри материала будет опережать скорость фильтрации паров через его толщу, возникающее при этом давление водяных паров внутри материала может привести к появлению в изделии трещин и отслаиваний («лопанец»). Опасным в этом отношении следует считать участок температурной кривой до 250° С, так как удаление физически связанной и аллофаноидной воды может вызвать этот брак. При температурах дегидратации глины черепок является пористым и через него беспрепятственно фильтруются водяные пары гидратной влаги. Поэтому в этот период допустимая скорость нагрева изделия не лимитируется свойствами его материала. Выгорание органических компонентов шихты, а также диссоциация карбонатов и других соединений, выделяющих летучие газы, должны заканчиваться до начала интенсивного спекания черепка во избежание его вспучивания и разрывов.

Скорость подъема температуры в период интенсивной усадки для масс, у которых в этот период возникают разрушающие напряжения, должна подбираться с таким расчетом, чтобы она не приводила к появлению трещин в обжигаемом изделии. В остальных случаях нужно руководствоваться соображением, согласно которому скорость нагрева не должна вызывать большого дебаланса в интенсивностях внешнего и внутреннего теплообмена. При значительном превышении интенсивности внешнего теплообмена над внутренним возможно оплавление поверхности изделий.

Конечная температура обжига назначается по результатам испытаний.

Длительность выдержки изделий при конечной температуре зависит от размеров изделия и требуемой степени водопоглощения черепка и для большинства изделий также подбирается опытным путем.

При охлаждении изделий необходимо замедлять процесс при температурах перехода материала из пиропластического состояния в хрупкое и при температурах модификационных превращений кристобалита и в особенности кварца. Быстрый переход через температуру модификационного превращения кварца (575° С) вызывает общее разрыхление обожженного черепка и появление на изделии прямых коротких тонких трещин («холодный треск»).

При выборе температурного режима обжига следует учитывать еще влияние неравномерности обжига изделий, уложенных в печи штабелем. Обжиг единичного изделия (физический срок обжига) может быть осуществлен в несколько раз быстрее, чем обжиг штабеля тех же изделий. В связи с этим в последние годы начинают получать широкое распространение печи для однорядного обжига изделий.

При установлении газового режима для обжига изделий из легкоплавких и тугоплавких глин необходимо до полного выгорания топливных добавок и диссоциации карбонатов и других солей поддерживать сильно окислительную среду, а в конечный период обжига — восстановительную для обеспечения более полного спекания, а следовательно, и упрочнения изделия. Аналогичный эффект достигается созданием в последнем периоде обжига пароводяной среды путем введения распыленной воды в зону максимальных температур.

При обжиге фарфоровых изделий начиная с 1000° С и до конечной температуры обжига необходимо поддерживать восстановительную среду для обеспечения более полного спекания черепка и предотвращения красящего действия железистых окислов.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ
ПОКРЫТИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

На некоторые виды керамических изделий для улучшения их технических свойств или в декоративных целях наносят различного рода покрытия. Различают три основных вида покрытий: глазурь, ангоб и раскрашивание. В последние годы в производстве лицевого кирпича декоративное покрытие наносится также методом двухслойного формования.

§ 1. ГЛАЗУРОВАНИЕ

Глазурью называется тонкое (0,1—0,3 *мм*) стекловидное покрытие поверхности керамического изделия.

1. Виды глазурей

Различают следующие виды глазурей.

По наличию окраски — бесцветные и окрашенные, в том числе одноцветные и многоцветные, по прозрачности — прозрачные и глухие. Прозрачные глазури не скрывают цвета и фактуры поверхности керамического изделия. Глухая глазурь практически полностью отражает световые лучи и таким образом скрывает поверхность керамического изделия. В глазурном слое глухих глазурей имеются микроскопической величины кристаллы, рассеивающие световые лучи. Глушение глазури достигается введением в ее состав компонентов, которые не расплавляются при обжиге глазурованного изделия и продолжают оставаться в глазури в кристаллическом состоянии (первичные кристаллы) либо которые обусловливают образование новых кристаллов во время затвердевания глазурного расплава.

По степени блеска различают глазури глянцевые и матовые, по способу приготовления — сырые и фриттованные. В сырых глазурях глазурный шликер приготовляется помолом и смешением компонентов. Фриттой называется сплав первичных компонентов, входящих в состав глазурей. Таким образом, фриттованные глазури приготовляются путем предварительного сплавления ее исходных компонентов и последующим помолом фритты с добавками или без них.

По температуре плавления глазури бывают легкоплавкие для температур обжига 900—1100° С и тугоплавкие — до 1350° С, по назначению — фарфоровые, фаянсовые и майоликовые соответственно виду керамического материала, для покрытия которого они предназначаются.

По составу компонентов иногда глазури именуют соответственно названию одного, двух или нескольких компонентов, которые входят в состав глазури и определяют их главнейшие свойства. Так, различают глазури: полевошпатовые, свинцовые, борные, цирконовые, стронциевые, литиевые, фосфатные и др.

2. Состав глазурей

Состав глазурей удобней всего выражать молекулярной формулой Зегера, общий вид которой может быть записан в следующей форме:

$$\left.\begin{matrix}\Sigma a_n R_2O \\ \Sigma b_n RO\end{matrix}\right\} \Sigma c_n R_2O_3 \Big\} \Sigma d_n RO_2 \cdot \Sigma f_n (R_2O_3)_k, \qquad (66)$$

где R_2O — щелочные окислы, например Na_2O, K_2O; RO — щелочноземельные окислы, например CaO, MgO; R_2O_3 — полуторные окислы, например Al_2O_3, Fe_2O_3; RO_2 — кислотные окислы, например SiO_2; R_2O_3 — кислотные окислы

типа B_2O_3, P_2O_3; a, b, c, d, f — молярные доли окислов, входящих в состав глазурей.

Расчет ведется таким образом, что сумма щелочных и щелочноземельных окислов приводится к единице, т. е. всегда $\Sigma a_n + \Sigma b_n = 1$, а полуторные и кислотные окислы соответственно выражают в долях молей, приходящихся на один моль щелочных и щелочноземельных окислов. Для вычисления молекулярной формулы глазури величину процентного содержания каждого окисла делят на его молекулярный вес (табл. 18). Затем молярную долю каждого окисла делят на сумму молярных долей окислов типа $R_2O + RO$.

Таблица 18

Окислы, встречающиеся в глазурях

Окисел	Химическая формула	Молекулярный вес	Парциальный линейный коэффициент расширения компонентов силикатных стекол $\bar{a}_i \cdot 10^{-7}$
Окись:			
алюмииия	Al_2O_3	102,2	—30
бария	BaO	153,4	200
висмута	Bi_2O_3	466,4	—
железа	Fe_2O_3	159,7	55
калия	K_2O	94,2	465
кальция	CaO	56,1	130
кобальта	Co_2O_3	165,9	50
лития	Li_2O	29,88	270
магния	MgO	40,3	60
марганца	Mn_2O_3	157,8	105
меди	CuO	79,6	30
натрия	Na_2O	62	395
никеля	Ni_2O_3	165,4	50
олова	SnO_2	150,7	—45
свинца	PbO	223,2	130—190
сурьмы	Sb_2O_3	288,4	75
хрома	Cr_2O_3	152,3	—
цинка	ZnO	81,38	50
циркония	ZrO_2	165,9	—60
Двуокись:			
кремния	SiO_2	60,3	5—38
титана	TiO_2	80	+30—(—15)
Борный ангидрид	B_2O_3	69,8	0—50

Пример пересчета состава глазури [77] для выражения его в виде формулы Зегера приведен в табл. 19.

Приведенный состав глазури выразится формулой Зегера

$$\left.\begin{matrix}0{,}377Na_2O \\ 0{,}327CaO \\ 0{,}098ZnO \\ 0{,}198PbO\end{matrix}\right\} 0{,}207Al_2O_3 \left\{\begin{matrix}1{,}6SiO_2 \\ 0{,}315B_2O_3\end{matrix}\right.$$

Таблица 19

Пересчет состава глазури

Окислы	Состав в весовых процентах	Пересчет в молярные доли	Сумма	Расчет коэффициентов для формулы Зегера
SiO_2	42,1	42,1:60,06=0,7	—	0,7:0,44=1,6
Al_2O_3	9,2	9,2:101,88=0,091	—	0,091:0,44=0,207
CaO	8,1	8,1:56,1=0,144	0,144	0,144:0,44=0,327
Na_2O	10,3	10,3:62=0,166	0,166	0,166:0,44=0,377
PbO	19,5	19,5:233,2=0,0875	0,0875	0,0875:0,44=0,198
B_2O_3	7,2	7,2:69,6=0,138	—	0,138:0,44=0,315
ZnO	3,5	3,5:81,38=0,043	0,043	0,043:0,44=0,098
Итого	100	—	0,44	—

3. Исходные материалы

Для приготовления глазурей используются природные материалы и реактивы, в состав которых входит свыше 30 различных окислов. Некоторые из них приведены в табл. 18.

Природными материалами, используемыми для глазурей, являются глина, каолин, кварцевый песок, полевой шпат, пегматит, мел, доломит, тальк, сподумен, марганцевая руда, нефелиновый сиенит, циркон, туф, перлит и др.; из чистых технических материалов и химических реактивов — сернокислый и углекислый барий, бура, борная кислота, закиси и окиси железа, кобальта, марганца, меди и др.

4. Влияние отдельных окислов на свойства глазурей

Окись натрия является сильным плавнем. Уменьшает вязкость расплава, делая его «коротким», увеличивает прозрачность, $K_{тр}$ и склонность глазури к цеку, понижает прочность и твердость, повышает растворимость.

Окись калия является плавнем, образуя «длинные» расплавы. Повышает вязкость, $K_{тр}$ и блеск глазури.

Окись магния является плавнем, однако менее сильным, чем щелочные окислы; повышает твердость и упругость глазури; цеку не содействует.

Окись кальция — мало активный плавень, уменьшает склонность к цеку, способствует кристаллизации.

Окись стронция — мало активный плавень, уменьшает склонность к цеку, повышает твердость и прочность.

Окись бария улучшает блеск, понижает стойкость против цека; ядовита.

Окись бериллия повышает термостойкость и диэлектрическую прочность глазури, улучшает разлив и блеск; сильно ядовита.

Окись цинка повышает упругость глазури, понижает ее склонность к цеку, способствует сборке.

Окись свинца — наиболее сильный плавень, сообщает красивый блеск, улучшает разлив и снижает твердость глазури.

Окись меди — сильный плавень. Окрашивает глазурь в окислительной среде в синий, а в восстановительной — в темно-красный цвета.

Окись железа — нежелательный красящий окисел, содействует кристаллизации.

Окись бора — сильный плавень, сообщает глазури блеск и повышенную твердость, улучшает разлив, снижает склонность к цеку, препятствует кристаллизации; повышает термостойкость, понижает $K_{тр}$.

Окись алюминия в небольших количествах действует как плавень, в значительных количествах повышает тугоплавкость и вязкость расплава, улучшает упругость и химическую стойкость и понижает склонность к цеку, ухудшает разлив, препятствует кристаллизации.

Двуокись титана содействует кристаллизации, может действовать как глушитель, сообщает глазури свойства электронного полупроводника.

Двуокись кремния увеличивает тугоплавкость, вязкость, повышает химическую и термическую стойкость, понижает $K_{тр}$

5. Приготовление и нанесение глазурей

Глазури готовятся в виде шликеров заданного состава и плотности. Для сырых глазурей приготовление шликеров складывается из тех же операций, что и подготовка шликеров из керамических масс. При приготовлении фриттованных глазурей фриттовую шихту предварительно плавят во вращающихся печах периодического действия или в ванных фриттоварочных печах. Фритта должна быть проплавлена до состояния прозрачного (а не мутного) стекла. Затем фритту гранулируют, выпуская расплав из фриттоварочной печи в ванну с водой. В гранулят добавляют нефриттованные материалы и готовят шликер обычным способом; хранят его в бассейнах, снабженных пропеллерными мешалками.

В процессе фриттования исходные компоненты и входящие в них окислы взаимодействуют между собой и превращаются в сложные химические соединения, что в последующем облегчает расплавление глазури на изделии. Кроме того, при фриттовании из компонентов глазури удаляются летучие вещества. Все это улучшает качество глазурного покрытия. Глазурное покрытие наносят тремя основными способами: погружением в ванну с глазурью, когда глазуруют как внутренние, так и внешние поверхности изделия, поливом и пульверизацией. Проводились

опыты по напылению глазурного порошка в электростатическом поле, однако промышленного применения этот способ не получил.

6. Свойства глазурных расплавов

Основными характеристиками глазурного расплава являются температура начала плавления, температура разлива, вязкость и поверхностное натяжение.

Под температурой начала плавления понимают температуру, при которой появляются первые капли расплава, а под температурой разлива (по А. И. Августинику) — тот небольшой интервал температур, в котором глазурь равномерно распределяется в расплавленном состоянии на изделии, не всасывается его порами, образуя после охлаждения ровный и зеркальный слой. Оба эти показателя зависят прежде всего от состава. Более тонкое измельчение исходных компонентов снижает температуру плавления глазури.

Вязкость глазури влияет на ее разлив и кристаллизацию. Нормальная вязкость глазури, при которой происходит хороший разлив, составляет, по данным А. И. Августиника, 2000—2500 [3], а по данным Ю. Я. Эйдука — 10^4 *пз* [78]. Резко снижает вязкость ион фтора, щелочные катионы сильно понижают вязкость в последовательности $Li^+ > Na^+ > K^+$, а щелочноземельные слабее в вероятной последовательности $Mg^{2+} < Ca^{2+} < B^{2+}$; ионы кремния и алюминия обычно повышают вязкость, водяной пар снижает ее. Затвердевает глазурь при вязкости 10^{13} *пз*.

Поверхностное натяжение способствует растеканию глазури и влияет на кристаллизацию расплава: для глазурей оно примерно равно 435—525 *дин/см*. Различные группы ионов действуют на изменение поверхностного натяжения в такой последовательности:

$$\sigma_{Li} > \sigma_{Na} > \sigma_{K};$$

$$\sigma_{Mg} > \sigma_{Ca} > \sigma_{Sr} > \sigma_{Ba} > \sigma_{Zn} > \sigma_{Cd};$$

$$\sigma_{Al} > \sigma_{Ca} > \sigma_{Si} > \sigma_{Pb} > \sigma_{B} > \sigma_{K}.$$

Пары воды и сернистого ангидрида понижают поверхностное натяжение.

При нормальном обжиге глазурь плавится и частично растворяет поверхность черепка, образуя промежуточный слой между черепком и самой глазурью и обеспечивая прочное сцепление глазури с черепком.

7. Свойства затвердевшего глазурного покрытия

Важнейшим показателем глазури является коэффициент ее термического расширения $K_{тр}$, а точнее — соотношение между $K_{тр}$ керамического черепка и глазури. $K_{тр}$ представляет собой относительное увеличение линейных размеров материала при его нагревании на 1°

$$K_{тр} = \frac{l_t - l_0}{l_0(t - t_0)}, \quad (67)$$

где l_0 и l_t — соответственно начальная длина образца и его длина при $t°$ С; t_0 и t — соответственно начальная и конечная температура нагрева образца.

Величина термического расширения зависит от минералогического и фазового состава обожженного керамического материала и его структуры. Она неодинакова в отдельных температурных интервалах и, следовательно, зависит от температуры нагрева образца, причем причинами изменения величины $K_{тр}$ глазури в отдельных температурных интервалах могут явиться модификационные превращения различных минералов и изменение плотности стеклообразной фазы при так называемых температурах перехода из пиропластического состояния в твердое.

Приближенную величину $K_{тр}$ с точностью 2—3% можно рассчитать по методу молярной аддитивности, предложенному А. А. Аппеном [77]. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$K_{тр} \cdot 10^{-7} = \frac{\Sigma a_i \bar{a}_i}{\Sigma a_i}, \quad (68)$$

где a_i — число молей данного окисла; $\bar{a}_i$ — расчетный фактор коэффициента термического расширения, представляющий собой числовую характеристику парциального коэффициента линейного расширения (см. табл. 18).

Для SiO_2, PbO, B_2O_3, TiO_2 величина $\bar{a}_i$ вычисляется по отдельным формулам

$$\bar{a}_{SiO_2} \cdot 10^{-7} = 38 - 1(100 a_{SiO_2} - 67). \quad (69)$$

Если $a_{SiO_2} < 0{,}67$, то значение $\bar{a}_{SiO_2} \cdot 10^{-7}$ условно принимается постоянным, равным 38

$$\bar{a}_{PbO} \cdot 10^{-7} = 130 + 5(100 a_{Me_2O} - 3), \quad (70)$$

где $Me_2O = (Na_2O + K_2O)$.

Для бесщелочных, малощелочных ($Me_2O \leqslant 3\%$), а также сложных составов в первом приближении принимается $\bar{a}_{PbO} \cdot 10^{-7} = 130$

$$\bar{a}_{B_2O_3} \cdot 10^{-7} = 12{,}5(4 - \Phi) - 50, \quad (71)$$

где

$$\Phi = \frac{a\,Me_2O + a\,MeO - \bar{a}_{Al_2O_3}}{a_{B_2O_3}}. \quad (72)$$

Наличие в глазури MgO, ZnO, PbO при вычислении во внимание не принимается. Если $\Phi>4$, то принимается $\bar{a}_{B_2O_3}\cdot 10^{-7}=50$.

$$\bar{a}_{TiO_2}\cdot 10^{-7} = 30 - 1,5\,(100a_{SiO_2} - 50). \qquad (73)$$

При этом должно соблюдаться соотношение $80>100\ a_{SiO_2}>50$.

Важным свойством глазури является также модуль ее упругости E, который может быть рассчитан также по правилу аддитивности [79]. Порядок этой величины для фарфоровых глазурей составляет, по данным А. И. Августиника, (6,15—7,84) 10^5. С понижением модуля упругости глазурь становится более эластичной.

Коэффициент Пуассона (т. е. отношение относительного удлинения при сжатии к относительному удлинению при растяжении) для глазурей составляет 0,2—0,3. Предел прочности глазури при растяжении равен 2—3 *кГ/мм²*.

8. Пороки глазурного покрытия

В обожженном изделии могут возникать следующие пороки глазурного покрытия.

Цек — тонкие (волосные) трещины на поверхности глазурного покрытия, возникающие, когда $K_{тр}$ глазури больше $K_{тр}$ керамического черепка. Механизм возникновения цека поясняет рис. 94, *а*. В момент окончания обжига слои глазури и черепка имеют одинаковую длину l_0. Если бы керамический черепок

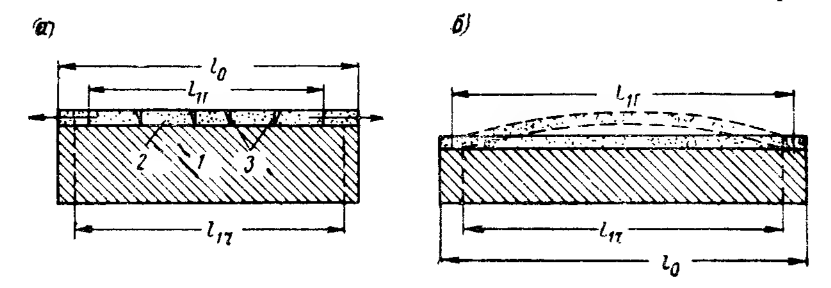


Рис. 94. Схема образования цека и отслаивания глазури

1 — керамический черепок; *2* — слой глазури; *3* — трещины

и глазурный слой могли при охлаждении изменять свои размеры независимо друг от друга, то, вследствие того, что $K_{тр}$ глазури больше $K_{тр}$ керамического черепка, глазурный слой принял бы размер $l_{1г}$, а черепок $l_{1ч}$. В действительности глазурный слой, будучи наплавлен на черепок, вынужденно принимает его размер и оказывается в растянутом состоянии. Напряжения растяжения при превышении предела прочности глазури вызывают на глазури появление трещин.

Аналогичный механизм образования цека действует и вследствие возникновения термических напряжений в глазури, даже при равенстве $K_{тр}$ глазури и черепка. В этом случае цек может появиться вследствие того, что глазурь охлаждается быстрее, чем черепок.

Цек возрастает с увеличением плотности глазурного шликера, толщины слоя глазури, при плохой проплавке фритты. Тонкий помол глазури снижает ее склонность к цеку.

Отслаивание глазури возникает, когда $K_{тр}$ глазури меньше, чем черепка. В этом случае (рис. 94, б) глазурный слой при отвердении испытывает напряжения сжатия и, будучи упругим, стремится изогнуться и оторваться от поверхности керамического черепка. Отслаивание глазури появляется также при пережоге фаянсового черепка. Чрезмерно тонкий помол глазури способствует развитию этого порока.

Сборка — глазурь стягивается в капельки и складки. Одной из причин этого порока является слишком тонкий помол исходных компонентов; плохая обдувка изделий от пыли перед их глазурованием также может вызвать сборку.

Накол — образование точечных впадин, не заполненных глазурью. Наколы образуются при заниженной температуре предварительного (утельного, бисквитного) обжига неглазурованных изделий. Понижение поверхностного натяжения способствует заплыванию наколов.

Плохой разлив, волнистость, слабый блеск глазури могут появиться при недостаточно тонком ее помоле, недостаточно тщательном смешении компонентов перед фриттованием и плохом проплавлении фритты.

Сухость проявляется в ослабленном блеске глазури; на ощупь глазурь не скользкая. Возникает она от преждевременного впитывания глазури в изделие и от чрезмерно жидкой консистенции глазурного шликера.

Потеки возникают при чрезмерной плотности глазурного шликера.

Плешины — неоглазурованные участки изделия — появляются от попадания масла на эти участки, а также при малом содержании пластичной глины в глазурном шликере.

Матовость глазури может возникать вследствие поглощения паров борной кислоты и окиси свинца стенками капселя. Для предупреждения этого порока стенки капселя с внутренней стороны необходимо глазуровать.

Слипыш — приплавление изделий друг к другу, к подставкам или капселю — обусловливается неправильной установкой изделий в капсели.

Пузыри (прыщи) — различного рода вздутия на глазурном покрове. Образуются они при быстром подъеме температуры в интервале 800—1000° С. Вследствие этого газы, выделяющиеся в черепке, не успевают удалиться из него до начала расплавле-

ния глазури. Наличие в керамической массе карбонатов усиливает опасность возникновения пузырей.

Засорка — отскакивание во время обжига частиц шамота от стенок капселя и приплавление их к поверхности глазури. Уменьшение засорки достигают улучшением качества капселей и глазурованием их внутренней поверхности.

Задувка — темные пятна на поверхности изделия — появляется вследствие поглощения черепком углеводородов, золы и копоти из дымовых газов в низкотемпературный период обжига. Предотвратить их попадание на изделие можно улучшением процесса сжигания топлива, качеством капселей и их уплотнением. Углеводороды необходимо выжигать до начала восстановительного периода обжига и плавления глазурного покрова.

Мушка — мельчайшие темные пятнышки на поверхности. «Материальная мушка» появляется от наличия в сырьевых материалах железистых примесей, «технологическая мушка» — от их присадки во время обработки сырьевых материалов. «Горновая мушка» возникает при наличии в капсельной массе примеси железного колчедана, который при обжиге вскипает и его брызги оседают на поверхности изделия [80].

§ 2. АНГОБИРОВАНИЕ

Ангобом называют светложгущееся керамическое покрытие, наносимое на сырец из легкоплавких железистых глин для получения после обжига черепка белого и светлого тона. Ангобы наносят поливом или пульверизацией.

Ангобирование в качестве декоративного покрытия применяют при изготовлении лицевого кирпича, а в качестве подглазурного слоя, маскирующего цвет керамического черепка,— при изготовлении изделий художественной и бытовой керамики.

Для обеспечения прочного сцепления ангобного слоя с основным черепком необходимо, чтобы у обоих слоев были согласованы величины воздушных и огневых усадок, а также $K_{тр}$. С этой же целью толщина ангобного слоя не должна превышать 0,1—0,3 *мм*, а шликер его должен быть тонкого помола с остатком не более 5% на сите 10 000 *отв/см²*. Плотность ангобного шликера должна находиться в пределах 1,6—1,7 (по денсиметру), влажность — 36—40%. Введение в состав ангоба окиси кальция увеличивает его сцепление с черепком. Температурный интервал между спеканием и плавлением ангоба желателен примерно в 120°. В процессе обжига ангобный слой может спекаться, приобретая водопоглощение 1—4%, в то время как основной черепок может оставаться высокопористым. Для понижения температуры спекания ангоба в его состав вводят стекольный бой.

§ 3. РАСКРАСКА

Помимо цветных глазурей керамические изделия бытового назначения в декоративных целях раскрашивают.

Раскраска может быть подглазурной, когда ее наносят на изделие перед глазурованием, и надглазурной, когда раскрашивают глазурованное обожженное изделие, а затем краску закрепляют на глазури специальным обжигом при температурах 720—850° С (для некоторых красок — 555—600° С).

В качестве керамических надглазурных красок используют смеси жаростойких минеральных пигментов с легкоплавкими стеклами, а в качестве подглазурных — смеси этих же пигментов с керамическими массами и глазурями [81]. Надглазурные краски являются легкоплавкими и их называют «красками малого огня», а подглазурные — тугоплавкими («краски большого огня»).

Пигментами в керамических красках являются различные минеральные соединения (силикаты, алюминаты, фосфаты и др.), а носителями цвета в пигментах (хромофорами) — окислы бора, висмута, кобальта и др. Окраска пигментов является результатом избирательного поглощения кристаллической решеткой пигмента волн определенной длины. Пигмент принимает окраску того цвета, который является дополнительным к поглощенному.

Краски наносят на изделия различными способами: живописными работами, распылением («крытье»), печатью, а также при помощи штампов, отводки, декалькомании и фотокерамики.

Живописные работы выполняются кистью, пером и другими аналогичными инструментами. Для живописных работ краски растирают в фарфоровых шаровых мельницах со скипидаром в течение 24—48 *ч*, а затем сливают через сито с 2500 *отв/см²*. Для подглазурной росписи краски растирают с глазурью на сахарном сиропе и глицерине.

Крытье представляет собой покрытие изделия краской в рамках трафарета при помощи аэрографа (рис. 95). Краски для нанесения аэрографом растираются в фарфоровых шаровых мельницах в течение 24—48 *ч* на скипидаре с добавкой канифоли или в течение 1—2 *ч* на воде с добавкой вареного декстрина.

При нанесении рисунка способом печати на металлическом барабане или доске гравер вырезает точную копию будущего рисунка изделия. Затем на барабан (или доску) наносят слой краски так, чтобы она заполняла только вырезы, на доску накладывают специальную тонкую слабоувлажненную бумагу, а на нее — слой бумаги типа газетной толщиной 5—6 *мм*, покрывают кирзовой прокладкой и сжимают под прессом или между вальцами. После этого бумагу с образовавшимся на ней слоем краски опускают в воду, а потом накладывают на сухое изделие и протирают войлочным валиком. При этом краска сцепляется

с поверхностью изделия, а бумага легко отделяется от рисунка. Краску готовят в виде мастики на глицерине и патоке или на олифе.

Для нанесения краски на изделие применяют также шелкотрафаретную печать. При этом жидкая краска продавливается через шелковую сетку с 3600 *отв/см*². На сетку предварительно фотографическим методом наносят контур рисунка и покрывают

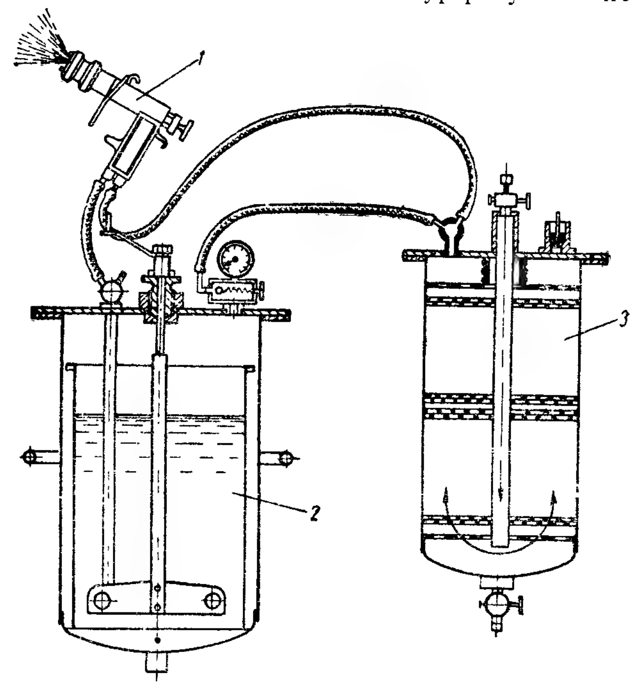


Рис. 95. Схема краскораспылительной установки

1 — распылитель; 2 — бачок с краской; 3 — фильтр для воздуха

ее специальной светочувствительной эмульсией. Затем на светокопировочном станке через диапозитив наносят на эмульсию скрытое изображение рисунка, после чего растворяют эмульсию в местах, не подверженных действию света. Таким образом, за пределами контура рисунка сетка оказывается покрытой эмульсией, а в пределах контура — свободной от эмульсии, и в этих местах через нее легко продавливается жидкая краска.

Для нанесения красок при помощи штампа изготавливают специальный резиновый штамп и им наносят краску как на неглазурованные, так и на глазурованные изделия. Краски разводят на скипидаре, глицерине или патоке.

Отводкой называют нанесение на изделия красок непрерывной круговой полоской. Этот прием выполняют на турнетке — диске, укрепленном во вращающемся шпинделе, при помощи специальной отводочной кисти.

Декалькоманией называют переводные изображения. При этом способе, который является самым массовым, полиграфическим методом готовят из керамических красок изображения рисунка на бумаге, типа детских переводных картинок и затем наклеивают их на поверхность керамического изделия.

При нанесении на изделие рисунка способом фотографирования (фотокерамика) фотографируют оригинал в перевернутом виде. Затем с негатива печатают рисунок на стекло. После этого рисунок покрывают слоем керамической краски, а поверх нее коллодиевым раствором. Застывшую коллодиевую пленку с нанесенной на нее краской снимают со стекла обработкой в растворе щелочи и последующей промывкой. Пленку наносят на изделие коллодиевой стороной, покрывают флюсом для усиления сцепления краски с поверхностью изделия, подсушивают и направляют в обжиг.

Раскрашенные изделия обжигают в муфельных П-образных или конвейерных ленточно-сетчатых печах, в окислительной или слабо окислительной среде. Температура обжига и длительность выдержки при максимальной температуре индивидуальны для каждой группы красок. Если раскраска многоцветна с неодинаковыми температурами обжига, то обжиг ведут несколько раз, отдельно после каждой группы красок, имеющих одинаковую температуру обжига. При этом первый обжиг ведут для красок, требующих более высокую температуру, а последний обжиг — для красок с минимальной температурой.

Часть третья

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ГРУБОЙ КЕРАМИКИ

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

К стеновым керамическим изделиям относят глиняный строительный кирпич и керамические камни.

Согласно ГОСТ 530—54 кирпич глиняный обыкновенный представляет собой искусственный камень, имеющий форму параллелепипеда размером 250×120×65 *мм*, изготовленный из глины, с добавками или без них, и обожженный. Все керамические изделия конструктивного назначения, имеющие размеры больше кирпича, называют керамическими камнями *.

Кирпич является одним из наиболее древних искусственных строительных материалов, его возраст составляет примерно 5000 лет.

В СССР выпуск всех стеновых материалов учитывают в «условном кирпиче», под которым понимают объем, равный 1 кирпичу стандартных размеров — 2 $дм^3$.

Выпуск стеновых керамических изделий в СССР составил в 1965 г. 25 млрд. шт. условного кирпича и покрывал более 50% общего расхода всех стеновых материалов. К 1970 г. выпуск их возрастает до 35 млрд. шт., но удельный вес в общем балансе стеновых материалов несколько снизится в связи с опережающим развитием стеновых изделий индустриального применения.

Главнейшими требованиями, которые предъявляются к керамическим стеновым изделиям, являются пределы прочности при сжатии и изгибе, водопоглощение и морозостойкость.

Прочностью вообще называется способность материала сопротивляться разрушению от действия напряжений, возникающих в нем под влиянием приложенной нагрузки. Процесс разрушения материала в современном представлении [72] рассматривается как процесс роста трещин и концентрации вокруг них

* Раньше такие изделия называли «керамическими блоками». В настоящее время это название устарело и не соответствует нормативным документам. Под блоками в настоящее время понимают изделия, полученные в результате укрупнительной сборки.

напряжений. Предполагается, что поверхность любого материала покрыта густой сетью микротрещин (трещины Гриффитса), являющихся начальными очагами его разрушения. Этим объясняется большое отличие обычно наблюдающейся, т. е. измеренной, прочности внешне бездефектного материала [(1—10) 10^2 $кГ/см^2$] от прочности, рассчитанной по прочности межатомных связей [(1—10) 10^5 $кГ/см^2$]. Прочность керамических материалов зависит от их фазового состава, пористости и структуры. Под структурой понимают (по Б. С. Швецову) пространственное взаиморасположение в системе отдельных ее фаз.

Пределом прочности при сжатии $R_{сж}$ называется то максимальное напряжение в $кГ/см^2$, при котором материал разрушается от действия сжимающей (раздавливающей) нагрузки:

$$R_{сж} = \frac{P_{сж}}{F}\ кГ/см^2, \quad (74)$$

где $P_{сж}$ — приложенная сжимающая нагрузка в *кГ*; F — площадь образца в $см^2$.

Для керамических материалов величина предела прочности при сжатии зависит еще от размера образца и уменьшается с его увеличением. Для одних и тех же керамических материалов малые образцы показывают бо̀льшую величину предела прочности при сжатии, нежели образцы больших размеров, что объясняется возрастанием неоднородности структуры керамических материалов по мере укрупнения образцов.

Предел прочности при сжатии является главнейшим показателем стеновых материалов, которые воспринимают большие нагрузки в зданиях и сооружениях. Кроме того, по этому показателю судят о прочности керамического черепка, которую возможно получить из заданных глин.

Пределом прочности при изгибе называют напряжение, соответствующее изгибающей нагрузке, вызвавшей разрушение образца испытуемого материала. Для образца, имеющего форму балочки прямоугольного сечения:

$$R_{из} = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2bh^2}\ кГ/см^2, \quad (75)$$

где M — изгибающий момент в $кГ \cdot см$; W — момент сопротивления в $см^3$; P — нагрузка в *кГ*; b, h — соответственно ширина и высота поперечного сечения балочки в *см*; l — пролет между опорами испытуемой балочки в *см*.

На величину предела прочности при изгибе влияют те же факторы, что и на сопротивление сжатию, с той лишь разницей, что структура материала оказывает более резкое влияние на его сопротивляемость изгибу. Так, например, кирпич сухого прессования имеет меньшую величину предела прочности при изгибе, чем кирпич пластического формования из тех же глин.

Предел прочности при изгибе регламентируется ГОСТами для кирпича (поскольку в стене он испытывает не только сжимающие, но и изгибающие нагрузки вследствие неровностей своей поверхности), а также для черепицы и некоторых других керамических изделий.

Керамические изделия массового производства (в особенности кирпич) по своим прочностным свойствам весьма неоднородны. Поэтому важным показателем качества таких материалов становится степень их однородности [82], которую можно характеризовать коэффициентом однородности $K_{од}$

$$K_{од} = \frac{R_в}{R_{ср}}, \qquad (76)$$

где $R_в$ и $R_{ср}$ — соответственно наиболее вероятная усредненная прочность исследуемой партии образцов и ее средняя арифметическая прочность:

$$R_в = R_{ср} - 3\sigma, \qquad (77)$$

где σ — дисперсия исследуемой партии образцов;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (R_{ср} - R_i)^2}{n-1}}, \qquad (78)$$

где R_i — прочность каждого индивидуального образца в исследуемой партии; n — количество образцов в исследуемой партии.

Повышение $K_{од}$ при одинаковом $R_{ср}$ свидетельствует об улучшении качества выпускаемых изделий в отношении большей надежности приближения фактической их прочности к величине $R_{ср}$, которой обычно характеризуется прочность массовой продукции.

Водопоглощением называют свойство материала впитывать и удерживать в себе воду. Численная величина водопоглощения характеризует степень заполнения пор материала водой. Различают:

водопоглощение по объему

$$B_{об} = \frac{G_н - G}{V} 100\%; \qquad (79)$$

водопоглощение по весу

$$B_{вес} = \frac{G_н - G}{G} 100\%, \qquad (80)$$

$$B_{об} = B_{вес} \frac{G}{V} = B_{вес} \gamma_0 \%, \qquad (81)$$

где G — вес образца, высушенного до постоянного веса; $G_н$ — вес образца, насыщенного водой.

Водопоглощение керамических материалов часто используется как метод определения их пористости. Поэтому в ГОСТах и ТУ обычно регламентируется величина водопоглощения, которая в этих случаях рассматривается как количественная мера пористости.

Морозостойкостью называется способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и без значительного понижения прочности. Показателем морозостойкости является количество теплосмен без признаков разрушения.

При замерзании воды в лед ее объем увеличивается примерно на 9%. Поэтому если пористое тело насыщено водой и вода превращается в лед, то расширяющийся лед начинает давить на стенки пор, в которых при этом возникают растягивающие усилия. Давление льда при замерзании воды в порах может достигать 2800 *кГ/см²*. Однако опытом установлено, что при насыщении водой «на холоду» не все открытые поры заполняются водой. Незаполненные водой поры могут служить резервным объемом, в который будет выжиматься избыточный объем замерзающего льда, снижая давление на стенки пор. Если объем резервных пор составляет не менее 10% объема пор, заполненных водой, то логично предположить, что материал будет морозостойким, так как прирост объема при замерзании воды в лед полностью разместится в резервных порах и внутри материала не возникнет избыточного давления. С учетом гарантийного запаса принимали, что объем резервных пор для обеспечения морозостойкости материала должен составлять не менее 15%. При этом резервными считали поры, более мелкие по сравнению с теми, которые не заполняются водой. Их объем определяли насыщением водой материала при кипячении, полагая, что в этом случае все открытые поры заполняются водой. Тогда условия морозостойкости материала можно характеризовать коэффициентом насыщения $K_н$ и записать как

$$K_н = \frac{B_х}{B_к} \leqslant 0{,}85, \qquad (82)$$

где $B_х$ — водопоглощение на холоду в %; $B_к$ — то же, при кипячении в %.

Эти предпосылки до сего времени излагаются во многих руководствах по строительным материалам и в свое время послужили основанием для введения в стандарт экспрессного метода испытания кирпича на морозостойкость (ГОСТ 530—41). Однако последующая практика и тщательные исследования выявили многочисленные отклонения. Оказалось, что кирпич с $K_н < 0{,}85$ является во многих случаях неморозостойким, равно как при $K_н > 0{,}85$ кирпич оказывается иногда морозостойким. Поэтому

при пересмотре ГОСТ этот метод оценки морозостойкости был исключен (ГОСТ 530—54).

Обстоятельные исследования по влиянию гранулометрии пор на морозостойкость керамических материалов [2] выявили следующие положения. Все поры в керамическом материале (с точки зрения морозостойкости) могут быть разделены на три категории.

1. Опасные поры, которые заполняются водой при насыщении «на холоду» и в которых она удерживается при извлечении материала из воды и замерзает при температурах от —15 до —20° С. Диаметр этих пор от 200 до 1 *мк* для глиняного кирпича пластического прессования и от 200 до 0,1 *мк* для глиняного кирпича полусухого прессования.

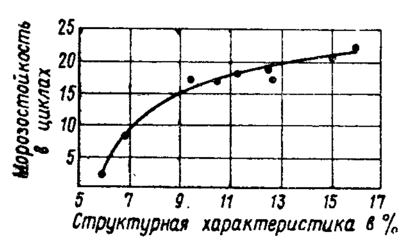


Рис. 96. Зависимость морозостойкости глиняного кирпича от его структурной характеристики

2. Безопасные поры, которые при насыщении «на холоду» водой не заполняются либо заполнившая их вода не замерзает при указанных температурах. Это обычно очень мелкие поры. Заполняющая их вода становится по существу пристеночной адсорбированной влагой, имеющей свойства почти твердого тела и температуру замерзания существенно ниже —20° С.

3. Резервные поры, которые при насыщении «на холоду» полностью заполняются водой, но из которых при извлечении образца из воды последняя частично вытекает вследствие малых капиллярных сил. Это крупные поры диаметром более 200 *мк*.

Условие морозостойкости характеризуется следующим соотношением: объем резервных пор должен быть достаточным, чтобы компенсировать прирост объема замерзающей воды в опасных порах. Алгебраически это условие выражается формулой

$$C = \frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{оп}} - V_{\text{р}}} 100\%, \qquad (83)$$

где C — структурная характеристика материала; $V_{\text{р}}$ — объем резервных пор (более 200 *мк*); $V_{\text{оп}}$ — объем пор с размером, превышающим нижний предел опасных пор; $V_{\text{оп}} - V_{\text{р}}$ — объем опасных пор.

Экспериментальная кривая зависимости морозостойкости полнотелого кирпича от его структурной характеристики приведена на рис. 96. Она показывает, что при $C<9\%$ кирпич является неморозостойким; пустотелые изделия морозостойки при $C>6\%$.

Морозостойкость определяет долговечность керамических материалов при их службе в условиях воздействия на них внешней

среды. Поэтому требование морозостойкости регламентируется ГОСТами для стеновых, фасадных, кровельных и некоторых других изделий строительной керамики.

Качественные показатели керамических стеновых материалов дифференцированы по маркам, которые соответствуют

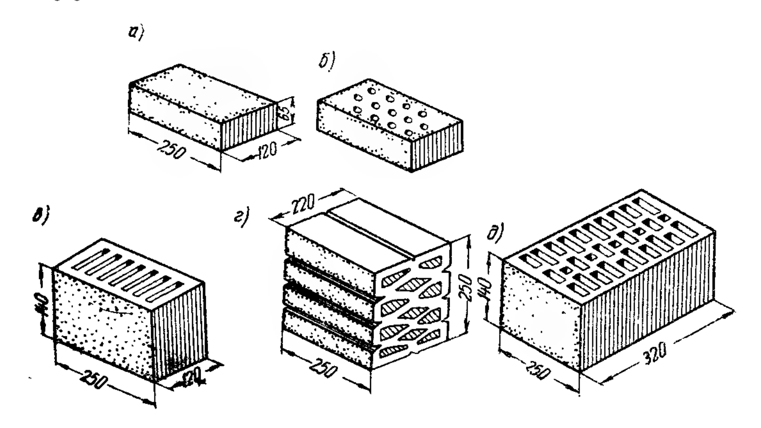


Рис. 97. Виды керамических стеновых изделий

а — обыкновенный кирпич; *б* — дырчатый кирпич с круглыми пустотами; *в* — щелевой камень; *г* — сотовый камень НИИСтройкерамики для панелей с ромбовидными пустотами; *д* — щелевой камень ВНИИСтрома для панелей

среднему пределу прочности при сжатии с интервалами в 25 *кГ/см²*. Различают марки 50, 75, 100 и т. д. Некоторые виды стеновых керамических изделий показаны на рис. 97. Основные показатели стеновых керамических изделий приведены в табл. 20.

§ 1. ПРОИЗВОДСТВО ГЛИНЯНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА

1. Сырьевые материалы

Регламентированных технических требований к глинам для производства кирпича не имеется. Как видно из диаграмм рис. 2 и 3, для изготовления кирпича пригодны легкоплавкие глины с большим диапазоном их состава. Это подтверждается также исследованиями Ф. А. Барщевского [83], результаты которых приведены на рис. 98. По пластичности наиболее пригодны умеренно пластичные глины с числом пластичности $П=7 \div 15$. Малопластичные глины с $П<7$ плохо формуются. Изделия из глин с $П>15$ обладают большой склонностью к образованию трещин при сушке и требуют отощения. Содержание каменистых включений не должно превышать 10%. Огневая

Таблица 20

Основные показатели стеновых керамических материалов

Показатели	Кирпич глиняный: обыкновенный, ГОСТ 530—54	Кирпич глиняный: пустотелый пластического прессования, ГОСТ 6316—55	Кирпич глиняный: пустотелый полусухого прессования, ГОСТ 6248—59	Кирпич строительный легковесный ГОСТ 648—41	Керамические пустотелые камни, ГОСТ 6328—55
Основные размеры в *мм*	250×120×65	250×120×65	250×120×65	250×120×65	250×120×138
Предел прочности в *кГ/см²* при:					
сжатии	75—200	75—150	75—150	500—100	75—150
изгибе	18—34	14—20	14—20	12—16	—
Водопоглощение в %	8	6	8	—	6
Морозостойкость в теплосменах	15	15	15	10	15
Объемный вес в *кг/м³*	1700—1850	1000—1450	1500	700—1450	1400
Вес единицы изделия в *кг*	3,5—3,6	2—3	3—3,2	1,5—3	6
Пустотность в %	—	7,5—25	12—18	—	22—27
Количество отверстий	—	13—113	8	—	7—9—18
Размер пустот в *мм*	—	16—12	35—45	—	12×90
Толщина стенок в *мм*	—	12	15	—	15

усадка кирпичных глин в большинстве случаев не превышает 3%, а интервал спекания — не более 50°.

При применении эффективных методов обезвреживания известковых включений их наличие и содержание в кирпичных глинах может не ограничиваться, хотя в целом они нежелательны.

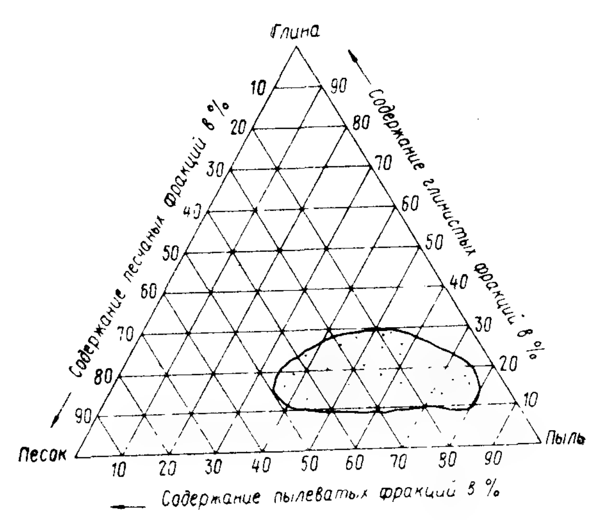


Рис. 98. Диаграмма гранулометрического состава глин, пригодных для изготовления обыкновенного строительного кирпича

В качестве добавок применяют: древесные опилки — до 15% по объему, антрацит, коксик, каменные и бурые угли до 80% от общего расхода топлива на обжиг кирпича, крупнозернистый песок, горелые породы, гранулированный доменный шлак — до 30%.

Средние нормы расхода сырья на 1000 шт. обыкновенного кирпича (с учетом потерь при добыче и транспортировании) приведены ниже.

Вид кирпича	Расход сырья (в плотном грунте) в $м^3$
Пластического формования:	
без вакуума	2,5
вакуумированный	2,75
Полусухого прессования	2,6

2. Способы производства кирпича

Производство кирпича может быть сезонным или круглогодовым. В первом случае заводы работают лишь в летний период, используя естественную сушку сырца. Длитель-

ность сезона зависит от климатических условий данного района и ограничивается периодом, в течение которого сырец, находящийся в сушильных сараях, не подвергается опасности замораживания. При круглогодовом производстве заводы работают непрерывно в течение всего года, с остановкой лишь на капитальный ремонт (15—30 дней в году).

Круглогодовая работа по сравнению с сезонной имеет следующие основные преимущества: независимость производства от погоды и климатических условий; более короткий (в 2—3 раза) цикл производства за счет сокращения срока сушки; более полное использование оборудования и производственных сооружений; возможность создания постоянных кадров квалифицированных рабочих; меньшие трудовые затраты на единицу готовой продукции.

В настоящее время сезонное производство кирпича сохранилось преимущественно на мелких заводах колхозного и районного подчинения. Выпуск ими кирпича составляет менее 25% от всего производства кирпича по СССР.

Производство кирпича осуществляется двумя способами: формованием из пластичной массы и прессованием из порошкообразной массы. Иногда применяют так называемый комбинированный способ, заключающийся в сухой подготовке массы и в пластическом формовании изделий. Преимущественное распространение получил способ пластического формования.

3. Производство кирпича пластическим формованием

Основные производственные операции этого способа и применяемое для их выполнения оборудование приведены в табл. 21.

Методы ведения карьерных работ, как уже указывалось ранее (глава III), определяются местными и в первую очередь горно-эксплуатационными условиями месторождения глины. Во всех случаях следует предпочесть промежуточное складирование глины, обеспечивающее более высокое качество кирпича и более ритмичную высокопроизводительную работу оборудования.

Одна из типичных распространенных на отечественных заводах схем обработки глины и формования сырца приведена на рис. 99. Схема может быть видоизменена следующим образом. Ящичные подаватели снабжаются рыхлителями глины, предотвращающими зависание ее на решетке подавателя. Вместо дезинтеграторных вальцов при глинах, сильно засоренных каменистыми включениями, устанавливают винтовые камневыделительные вальцы. Непосредственно после ящичного подавателя или после камневыделительных вальцов устанавливают глиномялку для первичного увлажнения глины, что резко улучшает техно-

Таблица 21

Основные производственные процессы и операции при изготовлении стеновых керамических материалов способом пластического формования

Основные процессы	Основные операции	Применяемое оборудование и установки
1	2	3
Разработка карьера	Вскрышные работы	Бульдозер Скрепер Многоковшовые экскаваторы Гидромонниторы
	Добыча глины	Многоковшовые экскаваторы Одноковшовые экскаваторы Канатные скреперы
	Транспорт глины	Автосамосвалы Узкоколейные вагонетки
	Складирование глины	Открытые штабеля Штабеля с подвижным или инвентарным покрытием Капитальные глинохранилища
Обработка глины	Выделение каменистых включений	Дезинтеграторные вальцы Винтовые вальцы
	Грубое дробление	Дезинтеграторные вальцы Гладкие вальцы грубого помола
	Предварительное увлажнение	Одновальные глиномялки Двухвальные глиномялки
	Тонкое измельчение	Бегуны мокрого помола Дырчатые вальцы Гладкие вальцы тонкого помола
	Окончательное увлажнение	Одновальные глиномялки Двухвальные глиномялки
Формование изделий	—	Ленточные шнековые вакуумные прессы Ленточные шнековые безвакуумные прессы
Сушка изделий	—	Сушильные сараи Камерные сушилки Туннельные сушилки
Обжиг изделий	—	Кольцевые печи Туннельные печи

логическую эффективность глиноперерабатывающих машин. Бегуны, которые за рубежом считаются обязательным элементом в схеме глинопереработки, на большинстве отечественных заво-

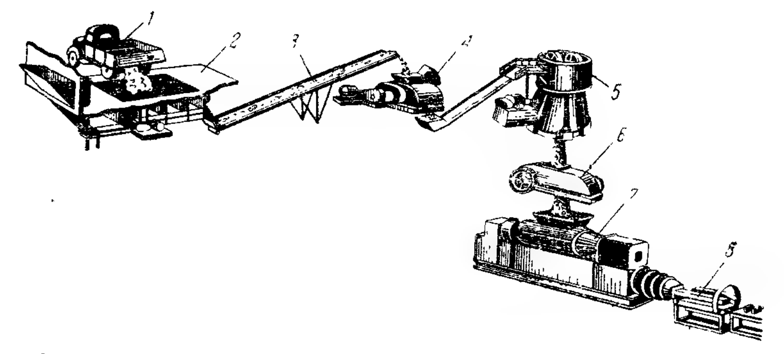


Рис. 99. Схема изготовления кирпича-сырца пластическим способом

1 — автосамосвал; *2* — ящичный подаватель СМ-664; *3* — ленточный транспортер; *4* — дезинтеграторные вальцы СМ-150А; *5* — бегуны мокрого помола СМ 268; *6* — вальцы тонкого помола СМ 24; *7* — вакуумный ленточный пресс с глиномешалкой; *8* — резательно-укладочный автомат

дов отсутствуют. Вместо них устанавливали гладкие вальцы грубого помола, а в последние годы устанавливают дырчатые вальцы. Обе эти машины в технологическом отношении (в особенности гладкие вальцы) менее эффективны. Гладкие вальцы тонкого помола применяют самошлифующиеся и с осевым смещением валков, что обеспечивает более равномерный их износ и дает возможность стабильно выдерживать зазор величиной 2—3 *мм*. На зарубежных заводах, по литературным данным [84], вальцы работают с зазором 0,8 *мм*. Кроме того, там вылеживают глину, подвергнутую механической обработке. Для этого применяют зумпфы, оборудованные многоковшовыми экскаваторами, смонтированными на мостовых фермах, либо башенные силосы с механическими разгрузчиками глины (рис. 100) емкостью от 25 до 200 $м^3$. Устанавливают второй ящичный подаватель между гладкими вальцами тонкого помола и прессовой глиномялкой. Про-

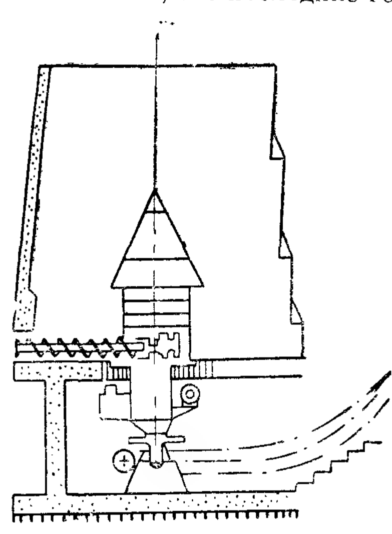


Рис. 100. Башенный силос с механической выгрузкой глины

межуточный запас глины в нем обеспечивает более ритмичную работу пресса.

На старых заводах встречаются схемы, в которых гладкие вальцы тонкого помола установлены между глиномялкой и прессом. Такое расположение машин обусловливает повышенную свилеватость сформованного сырца.

На некоторых зарубежных заводах устанавливают последовательно три пары вальцов с каскадным уменьшением зазора между валками: 8, 2 и 0,7 *мм*.

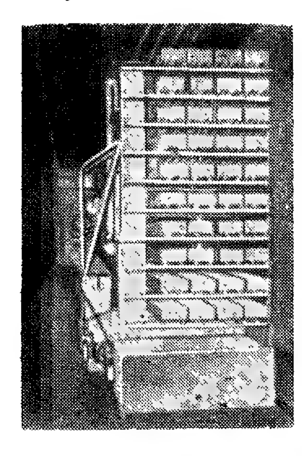


Рис. 101. Самообрасывающая полочная вагонетка емкостью 480 шт. кирпича

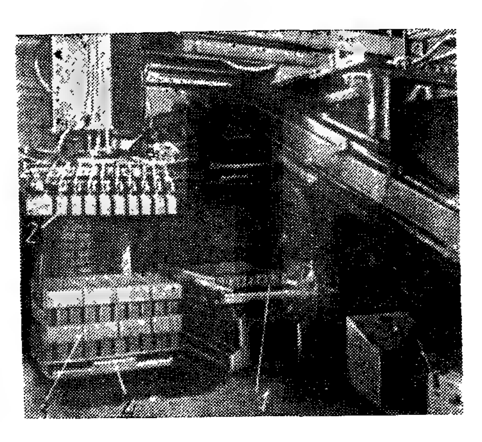


Рис. 102. Укладочный автомат системы «Бессон» для сформованного сырца

1 — комплектовочный стол; *2* — пневмосъемник; *3* — уложенный штабель сырца; *4* — поддон (вагонетка)

Прессы применяют безвакуумные и вакуумные. При глинах с высокой карьерной влажностью ее предварительно несколько подсушивают (и тем самым подогревают) в сушильных барабанах. За рубежом для этой же цели применяют установки «Беде-калор» (см. рис. 28).

Орошение мундштуков в последние годы передовые заводы производят не водой, а отработанным машинным маслом. Это повышает трещиностойкость сырца в сушке и уменьшает проявление в нем свили.

Формование на вакуумных прессах дает возможность получить плотный сырец, не дающий вмятин при установке его в штабель и не подверженный рамочным (замковым) трещинам в сушке.

Отбирают сырец от резательных автоматов и грузят его на вагонетки сушилок на многих отечественных заводах еще вручную. Однако передовые заводы механизировали эти операции применением укладочных автоматов различных систем. Типы укладочных автоматов неразрывно связаны с типом искусствен-

ной сушилки, в которой сушится сырец. При камерных сушилках применяют автоматы келлеровского принципа: сырец поступает на сушильную полку от однострунного резательного автомата, которая затем передается шагающим транспортером на накопитель-подъемник, с которого 10 полок с сырцом одновременно снимаются самосбрасывающей консольной вагонеткой, транспортируются к сушилке и ею же загружаются в сушильную камеру. Конструктивно это оформлено различно в автоматах отдельных фирм и заводов. В последние годы при использовании автоматов этого типа применяют самосбрасывающие вагонетки, принимающие одновременно четыре вертикальных ряда кирпича (рис. 101). Емкость такой вагонетки составляет 480 шт. кирпича. Ее подвижная рама снабжена электроприводом. Применение таких вагонеток облегчает труд и повышает производительность сушилок, уменьшая простой камер под загрузкой и разгрузкой.

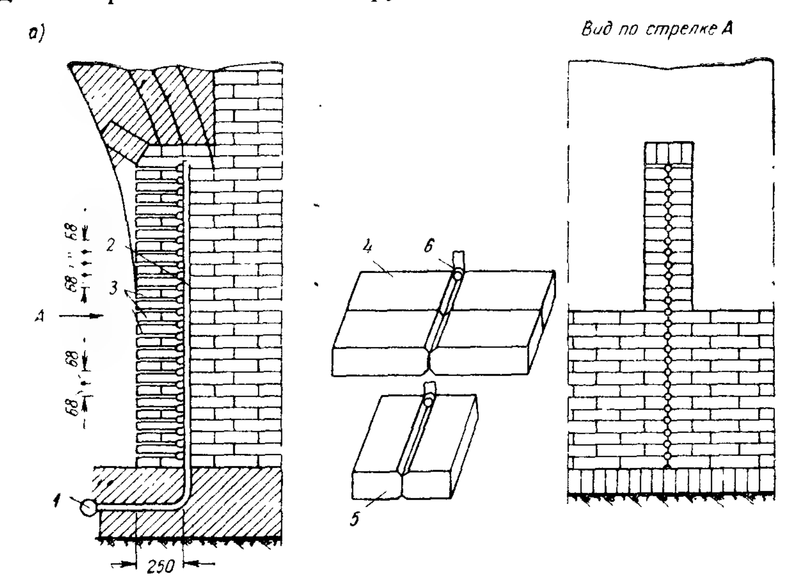
При туннельных сушилках с полочной сушкой сырца применяют укладочные автоматы системы Арутинова — Антольского с укладкой полок на вагонетки консольного типа.

При штабельной сушке в туннельных сушилках плотного вакуумированного сырца за рубежом применяют укладочные автоматы системы «Бессон» (рис. 102), производительностью до 8000 шт. кирпича в 1 *ч*, которые пневмосъемником устанавливают ряды сырца на сушильную вагонетку платформенного типа.

Для сушки сырца отечественные заводы до войны оборудовались преимущественно камерными сушилками Росстромпроекта (ныне Гипростром). В послевоенный период стали строить почти исключительно туннельные сушилки, как более экономичные в тепловом отношении, обладающие бо̀льшим уровнем механизации, возможностью создать поточное производство и стабилизировать режим сушки. Сроки сушки кирпича в камерных сушилках составляют 48—96, а в туннельных 16—24 *ч*. Температура поступающих газов 90—120° С.

Туннельные сушилки наилучшим образом работают при круглосуточном формовании сырца и непрерывной рабочей неделе. Их эксплуатация при работе формовочного отделения в две и тем более в одну смену, а также с общим выходным днем вызывает определенные неудобства. В связи с этим за рубежом в последние годы вновь начали строить камерные сушилки. Для циркуляции воздуха как в камерных, так и в туннельных сушилках применяют специальные аппараты — ротамиксы. Ротамикс представляет собой щелевой цилиндрический или конический, а иногда и телескопический кожух, внутри которого помещен вентилятор. Горячий воздух через отверстия в перекрытиях камер или туннелей попадает в приемное отверстие ротамикса и выбрасывается в сушильное пространство через щели вращающегося кожуха. Благодаря этому в сушильном пространстве создается интенсивная циркуляция воздуха, выравнивающая сушку. Ротамиксы могут перемещаться по полу сушилки (рис. 103, *а*)

Отопление большинства кольцевых печей производится еще углем и фрезерным торфом с ручной загрузкой топлива. Применение механических загрузчиков (шурапаратов) при больших скоростях огня себя не оправдало вследствие большой трудоемкости частого их перемещения. Значительно облегчает труд обжигальщиков и улучшает санитарные условия в печи запрессовка твердого топлива в сырец, снижающая до минимума количество золы в печи. Золу и щебень из печи выгружают также электропогрузчиком, ковшом которого золу насыпают в бункер, а из него отвозят автосамосвалом в отвал или в дробильно-помольное отделение для повторного использования в шихте. Многие кольцевые печи за последние 10 лет переведены на отопление природным газом, что улучшило качество кирпича, облегчило труд обслуживающего персонала и повысило производительность печей. Первоначально при переводе кольцевых печей на газовое отопление применялась комбинированная подача газа через подовые горелки и топливные трубки в своде печи. В связи с частым



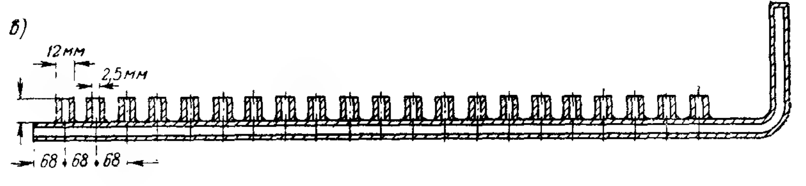


Рис. 106. Установка боковой горелки в кольцевой печи

а — поперечный разрез; *б* — горелка; *1* — газопровод под подом печи; *2* — горелка боковая; *3* — футеровка горелки фасонным кирпичом; *4* — ложковый ряд футеровки; *5* — тычковый ряд футеровки; *6* — насадок горелки

засорением нижних горелок, а также многими неудобствами эксплуатации верхних переносных горелок в последнее время начали применять боковые горелки (рис. 106). Температура обжига кирпича пластического формования составляет 900—950° С. Плотность садки кирпича в кольцевых печах составляет 180—250 *шт/м*³. Нормативная удельная производительность (съем) составляет 2000 шт. кирпича на 1 *м*³ обжигательного канала в месяц. Передовые заводы освоили съемы около 3000 *шт/м*³. Расход условного топлива составляет 120—150 *кг* на 1000 шт.

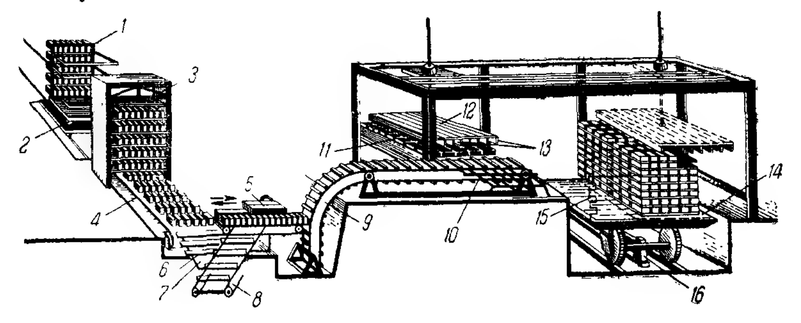


Рис. 107. Автоматическая линия Ленгипростройма для укладки высушенного сырца на печные вагонетки

1 — сушильная вагонетка; *2* — закатчик; *3* — разгрузчик; *4* — подаватель; *5* — магазин сырца; *6* — деревянные бруски; *7* — «склиз»; *8* — конвейер возврата бруса; *9* — группирователь; *10* — механизм сдвига; *11* — комплектовочный транспортер; *12* — групповой захват; *13* — пневматический захват; *14* — печная вагонетка; *15* — контур вагонетки; *16* — откатчик вагонетки

На реконструируемых и расширяемых кирпичных заводах в настоящее время строятся только туннельные печи.

Туннельные печи в прошлом строились в основном трех типоразмеров: Росстромпроекта (ныне Гипрострой) длиной 105 *м* и рабочим сечением 1,74×1,75 *м*, Укрпромпроекта (ныне Гипрострой, г. Киев) длиной 102 *м* и рабочим сечением 3,1×1,7 *м* (с этим же сечением строились печи длиной 72 и 90 *м*) и Гипростройа длиной 48 *м* и рабочим сечением 2×1,7 *м*. Печи Росстромпроекта и Укрпромпроекта работают на газовом и мазутном отоплении, а значительное количество печей Гипростройа длиной 48 *м* работает при сжигании твердого топлива на насадке кирпича, аналогично кольцевым печам.

Туннельные печи с выносными боковыми или верхними топками не обеспечивали равномерный обжиг изделий, и поэтому их больше не строят.

Туннельные печи для обжига строительного кирпича пока загружают вручную. На некоторых зарубежных заводах этот процесс механизирован при помощи укладочных автоматов. Для одного из отечественных заводов по проекту Ленгипростройма сооружена автоматическая укладочная линия (рис. 107). Особенностью этой линии является садка кирпича плашмя, что важно для обжига лицевого кирпича.

Съемы с 1 *м*³ рабочего объема туннельной печи составляют 3500—9000 шт. кирпича в месяц.

Все действующие в нашей стране туннельные печи выстроены для штабельного (многорядного) обжига кирпича. При этом значительная высота печи приводит к неравномерности температур по высоте обжигательного канала. Перепады температур в зоне подогрева составляют обычно 250—400°, а в отдельных случаях достигают 700°. Для уменьшения их необходимо применять разнородную сложную садку, для выполнения которой отсутствуют механизмы. Все садочные автоматы, как зарубежные, так и отечественные, могут выполнять только однородную садку, т. е. садку, состоящую из повторяющихся элементов. Создание автоматов для выполнения таких садок связано с большими техническими трудностями. В связи с этим наиболее перспективным следует считать создание туннельных печей для однорядного обжига кирпича. Такие печи принято называть печами щелевого типа. В СССР они впервые были предложены М. И. Роговым, Д. О. Коноваловым и Н. А. Шумиловской [85]. В этих печах вследствие малой высоты канала неравномерность обжига исключена, садка может быть однородной и выполняется она уже существующими

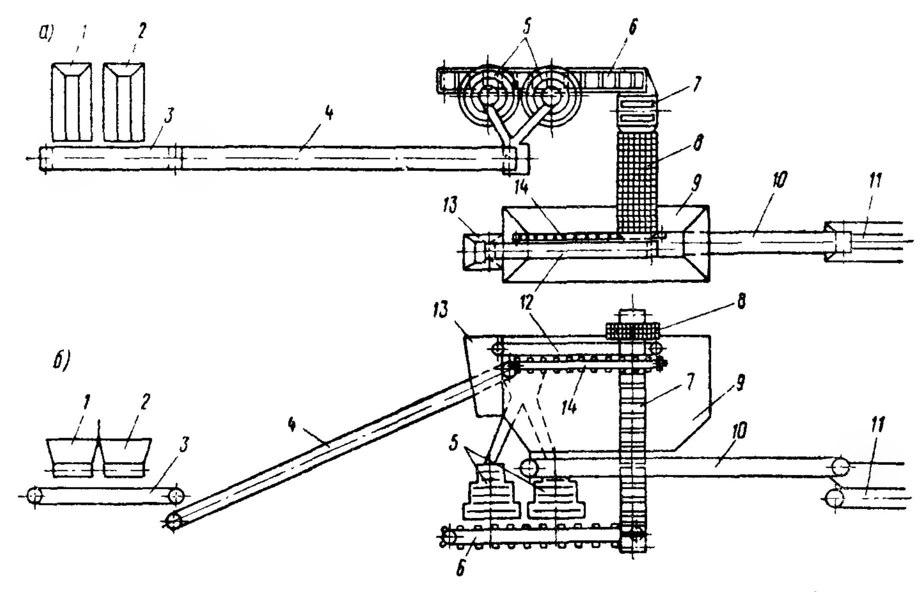


Рис. 108. Компоновочная схема отделения подготовки топливных добавок

а — план; *б* — продольный разрез; *1* — ящичный подаватель для опилок; *2* — ящичный подаватель для угля; *3, 4* — ленточные конвейеры; *5* — вертикальные дробилки (см. рис. 47); *6* — скребковый транспортер; *7* — ковшовый элеватор; *8* — сито эксцентриковое; *9* — бункер для просеянной топливной смеси; *10* — ленточный конвейер для подачи топливной смеси в ящичный подаватель для глины; *11* — ящичный подаватель шихты; *12* — ленточный конвейер для отсева; *13* — бункер для отсева; *14* — скребковый транспортер для равномерного распределения топливной смеси в бункере

надежно работающими автоматами. Щелевые печи для обжига изделий стеновой керамики появились за рубежом и несколькими организациями конструируются в нашей стране.

Подготовка топливных добавок сосредоточивается в настоящее время в обособленных отделениях. Пример удачной компоновки такого отделения на одном из подмосковных заводов приведен на рис. 108.

Для обжига дегидратированной глины помимо применяемых в СССР вращающихся печей и агломерационных ленточных машин за рубежом используют печи кипящего слоя. Типовые проекты таких установок разработаны и у нас.

4. Технико-экономические показатели

Себестоимость 1000 шт. кирпича составляет в среднем 22,5 руб., снижаясь на лучших заводах до 13 руб. Выработка кирпича на одного работающего на большинстве заводов равна 70—100 тыс. шт., а на заводах мощностью более 40 млн. шт. кирпича в год — 140 тыс. шт. в год. Для современных высокомеханизированных заводов этот показатель должен находиться на уровне 300—400 тыс. шт. кирпича в год на одного работающего. Энерговооруженность составляет 10—12 *квт* на 1 человека.

5. Техника безопасности

В кирпичной промышленности должны соблюдаться общие правила по охране труда. Для производства характерны определенные источники травматизма и профессиональных заболеваний, главнейшие из которых перечислены ниже.

Опасной является чистка на ходу вальцов и глиномялок — нередко это заканчивается тяжелыми травмами рук, а иногда и более серьезными несчастными случаями.

В помольных отделениях цехов сухого прессования должна обеспечиваться надежная аспирация пылящих источников. Общая вентиляция в этих отделениях должна быть приточно-вытяжной (а не только вытяжной) с подогревом приточного воздуха.

К тяжелым, иногда смертельным, несчастным случаям приводят работы по обрушению зависаний порошка в бункерах без предохранительных приспособлений.

При использовании в сушилках в качестве теплоносителя дымовых газов необходимо в камерах и туннелях поддерживать разряжение во избежание прорыва газов в коридоры сушилок. Несоблюдение этого правила приводит в отдельных случаях к тяжелым отравлениям. Во избежание запыленности сырца уносами необходимо подтопки искусственных сушилок переводить на отопление природным газом или мазутом, а при их отсутствии сжигать максимальное количество топлива в печи, в первую очередь путем его запрессовки в сырец, и, используя отходящие газы печи в качестве теплоносителя, осуществлять сопряженную тепловую работу печей и сушилок [86].

В кольцевых печах нужно непрерывно и тщательно следить за состоянием свода во избежание травм от возможного выпадения из него отдельных кирпичей. Температура в обжигательном канале печи у фронта выгрузки кирпича не должна превышать 50° С. Для этого нужно использовать комплекс мероприятий эксплуатационного и конструктивного характера, обеспечивающих понижение температуры на рабочих местах выгрузчиков [87]. К числу их относится водяное охлаждение сводов, футеровка свода легковесными материалами и др.

При отоплении сушилок и печей природным газом газоподводящие сети должны быть оборудованы противовзрывными клапанами. Во избежание возможных взрывов розжиг печей и подтопков не должен производиться при отключенных вытяжных вентиляторах.

Горячие газоводы и воздуховоды печей и сушилок во избежание ожогов должны иметь тепловую изоляцию, обеспечивающую температуру поверхности не выше 50° С.

Многоэтажные отделения корпусов («высотки») должны быть оборудованы грузо-пассажирскими лифтами для подъема и спуска тяжелых частей оборудования, моторов, элеваторных ремней и т. п.

§ 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПУСТОТЕЛЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ

Переход на выпуск пустотелых керамических камней взамен сплошного кирпича дает большой экономический эффект как в их производстве, так и в применении: понижается расход сырья и топлива, повышается производительность сушилок и печей, снижаются транспортные расходы на перевозку изделий. Использование пустотелых изделий с повышенными теплозащитными свойствами дает возможность сократить толщину наружных стен и облегчить фундаменты.

Сырьем для производства пустотелых керамических камней являются также легкоплавкие глины. Диапазон их гранулометрического и химического состава более узок, чем для производства обыкновенного глиняного кирпича (см. рис. 2 и 3). Число пластичности их должно находиться в пределах 15—25, причем чем выше процент пустотности и меньше толщина стенок, тем большей пластичностью должны обладать глины. Содержание каменистых включений не должно превышать 3%.

Глину для изготовления тонкостенных изделий надо подвергать более интенсивной обработке, чем при производстве полнотелого кирпича, и эта интенсивность должна возрастать по мере увеличения пустотности и размеров камня. Мелкие щелевые камни (ГОСТ 6328—55) во многих случаях изготовляют по

той же схеме, что и обыкновенный глиняный кирпич. Для изготовления камней укрупненных, а также с большой пустотностью глину необходимо подвергать двойной экскавации, бегунной обработке, а обработанную глину — зумпфованию.

На некоторых зарубежных заводах глину обрабатывают на шнековых глинопротирочных машинах, которые одновременно выделяют из глины каменистые включения (рис. 109). При вращении шнекового вала глина продавливается через решетчатую

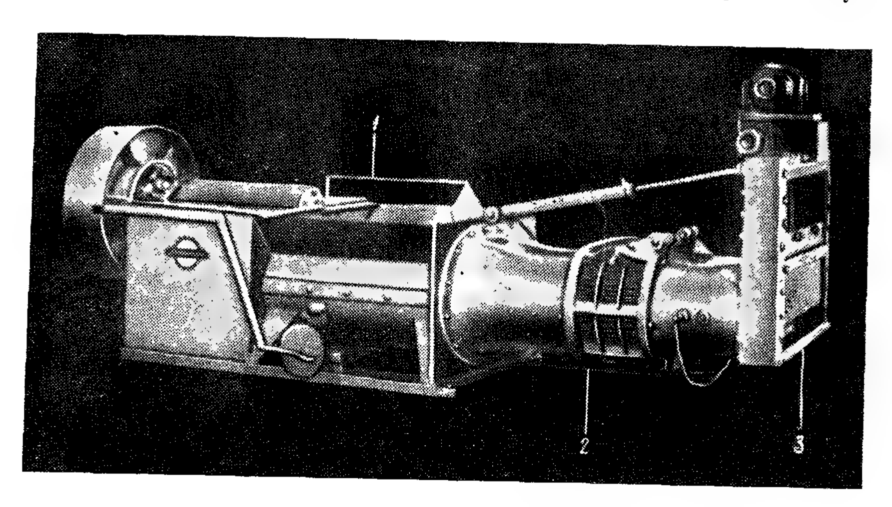


Рис. 109. Горизонтальная шнековая глиномялка с очистным приспособлением

1 - загрузочное отверстие; 2 — выход обработанной глины; 3 — удаление каменистых включений

стенку корпуса, а включения собираются и периодически удаляются через камнесборник.

Мелкие щелевые камни в отдельных случаях можно формовать на безвакуумных прессах, а укрупненные многопустотные камни — только на вакуумных прессах. Для формования пустотелых изделий шаг шнекового винта не должен превышать 200 *мм*, а число оборотов шнекового вала должно быть на 20—30% меньше, чем при формовании полнотелого кирпича. Попытки выпускать пустотелые изделия без снижения числа оборотов шнекового вала пресса приводили к разрыву корпуса, изгибу вала, срыву корпуса с фундаментных болтов и другим тяжелым авариям.

Размеры корпуса пресса должны быть выдержаны в соотношении

$$2 \leqslant \frac{F_{ц} K_{у}}{F_{м.ж}} \leqslant 6, \qquad (84)$$

где $F_{ц}$ — поперечное сечение корпуса (цилиндра) пресса; $F_{м.ж}$ — живое сечение мундштука; $K_{у}$ — коэффициент уплотнения глиняной массы при ее формовании. Обычно $K_{у} = 1{,}2 \div 1{,}5$.

Зазор между лопастями и корпусом пресса не должен превышать 2 *мм*.

Для формования пустотелых изделий полезно применять расширяющиеся головки, закрытые спереди плоским диском. Внутренний диаметр головки должен быть таким, чтобы ни одна металлическая часть не приближалась к углам мундштука ближе чем на 35 *мм*, в противном случае масса задерживается в углах мундштука.

Для формования пустотелых изделий предпочтительны короткие неорошаемые металлические мундштуки длиной примерно 40—60 *мм*. Пустотообразующая вставка («сердечник») (рис. 110) крепится изнутри к мундштучной плите и состоит из скобы, стержней и кернов (насадок), профилирующих отверстия в изделиях. Скоба должна иметь шероховатую поверхность. По мере ее сошлифовки (износа) шероховатость поверхности скобы надо восстанавливать наваркой во избежание образования в камне скобяных трещин. От входного отверстия мундштука скоба должна быть удалена на 100—200 *мм* и на 30—40 *мм* от конца шнека. Стержни делают толщиной от толщины велосипедных спиц до 10 *мм* и даже 25—40 *мм* при больших отверстиях в камне. Длину кернов принимают 20—30 *мм*. Для выравнивания скорости движения ленты по сечению бруса средние керны делают длиннее, а крайние короче. Отношение длин средних и крайних кернов должно находиться в пределах 5 : 1. С этой же целью отдельные керны делают с односторонним скосом. По сечению керны должны иметь плюсовой допуск, а поверхность их должна быть хромирована. Конусность кернов делают в пределах 1,2—2°. Чем у́же проходы для глины, тем большей принимается конусность кернов.

Для выравнивания скорости движения бруса применяют также тормоза в виде проволоки, навитой на стержни, или пластинок, приваренных к скобе.

Изменение производительности пресса при его переводе на формование пустотелых изделий определяется эмпирической формулой К. М. Королева

$$K_{п.к} = П_{о.к}\left(3000\frac{F}{T^4} + 80\right), \qquad (85)$$

где $K_{п.к}$ — производительность пресса по пустотелым камням в % к производительности пресса по полнотелому кирпичу; $П_{о.к}$ — производительность пресса по обыкновенному кирпичу; F — отношение живых сечений формуемого пустотелого камня и полнотелого кирпича; T^4 — отношение периметров трения формуемого пустотелого и полнотелого кирпича.

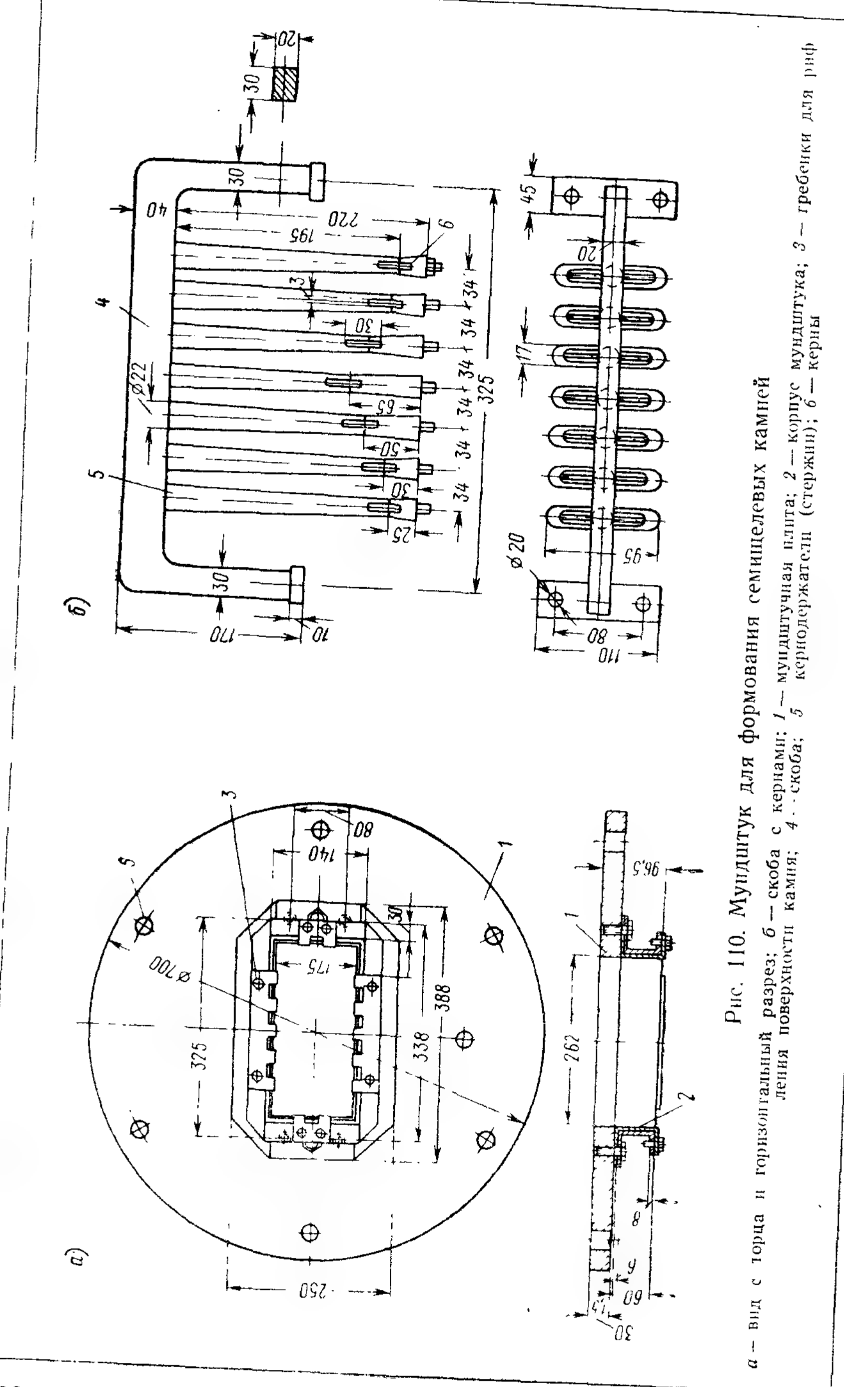


Рис. 110. Мундштук для формования семищелевых камней

а — вид с торца и горизонтальный разрез; *б* — скоба с кернами; *1* — мундштучная плита; *2* — корпус мундштука; *3* — гребенки для рифления поверхности камня; *4* — скоба; *5* — кернодержатели (стержни); *6* — керны

Под периметром трения в данном случае понимается периметр касания глиняной массы о керны мундштука и его стенки на выходе из него бруса.

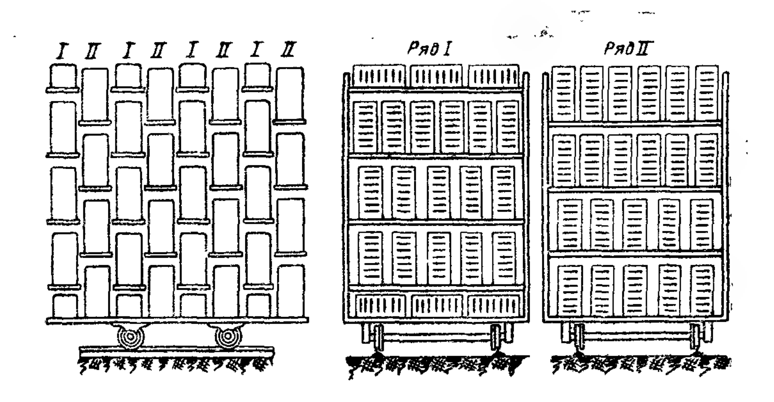


Рис. 111. Схема укладки керамических камней на сушильную вагонетку

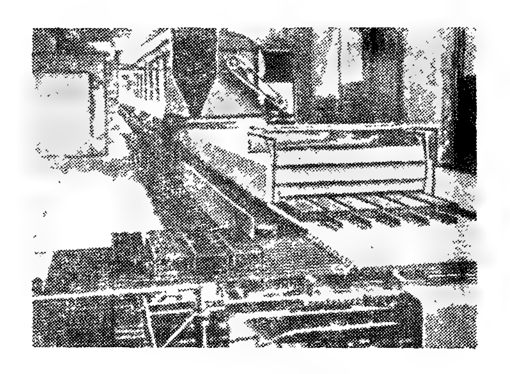


Рис. 112. Щелевая однорядная роликовая сушилка для керамических камней

Сушат камни в туннельных сушилках. При сушке семищелевых камней хорошие результаты были получены при садке их на вагонетку «стоя» с чередованием уровня установки отдельных рядов (рис. 111). За рубежом применяют однорядную сушку пустотелых керамических камней в щелевых сушилках с роликовыми транспортерами (рис. 112). Срок сушки в таких сушилках составляет 50 *мин*. Щелевая сушилка с цепными транспортерами для однорядной сушки мелких лицевых камней сооружена на Кучинском керамическом комбинате.

Обжигают камни как в кольцевых, так и в туннельных печах по режимам, примерно одинаковым с режимами обжига полнотелого кирпича.

Освоение распылительных сушилок большой производительности и начавшиеся работы по освоению щелевых кирпичеобжигательных туннельных печей создают благоприятную перспекти-

ву для совершенно новой схемы производства пустотелых керамических камней. Схема в этом случае будет иметь такой вид: автосамосвал ——→ глиноболтушка ——→ насос ——→ сито ——→ шламбассейн ——→ насос ——→ распылительная сушилка ——→бункера порошка и добавок ——→ глиномялка сухого смешения ——→ глиномялка мокрого смешения ——→ комбинированный вакуум-пресс——→резательно-укладочный автомат ——→сушильно-обжиговый агрегат——→ разгрузочно-укладочный автомат для обожженных изделий [18].

При работе по такой схеме возрастает расход топлива. Для снижения его шликер надо приготовлять с вводом разжижающих электролитов. Это понижает его влажность, сушить его нужно до той максимальной влажности, при которой порошок приобретает минимальную сыпучесть.

Приведенная схема содержит незначительное количество глинообрабатывающих и транспортирующих машин, обеспечивает гарантированное выделение каменистых включений, идеальную обработку глиняной массы, резко сокращает длительность производственного цикла и позволяет полностью автоматизировать весь производственный процесс. От поступления глины в производство до отгрузки готовой продукции потребителю технологический процесс будет осуществляться без ручных операций, а обслуживающий персонал состоять только из рабочих-операторов.

§ 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИЦЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ И КИРПИЧА

Лицевыми керамическими изделиями называются такие, которые в стене выполняют одновременно конструктивные и декоративные функции; их также иногда относят к группе изделий, именуемой «конструктивной фасадной керамикой».

Для зданий, возводимых из кирпича штучной кладкой, а также для кирпичных и керамических панелей лицевой кирпич и камни являются наиболее экономичными видами облицовки фасадов зданий. В современной архитектуре лицевой кирпич применяется также для отделки интерьеров и отдельных архитектурных элементов зданий.

1. Номенклатура и технические свойства

Требования к лицевому кирпичу регламентированы ГОСТ 7484—55, который предусматривает четыре прочностных марки: 75, 100, 125 и 150.

Кирпич должен иметь прямые ребра и углы, ровные поверхности, четкий профиль без недожимов, сбоев или отколов. Отдельные кирпичи, составляющие общую архитектурную деталь, в кладке должны точно подходить друг к другу, составляя единое целое. Допускаются отклонения в размерах: по длине ±4, по ширине ±3 и толщине ±2 *мм*; искривление поверхностей и ребер

по ложку не более ±3 и по тычку не более ±2 *мм*; отклонение от формы параллелепипеда не более ±3 *мм*; отбитость и притупленность углов и ребер по длине и наибольшей глубине допускается не более чем у двух кирпичей. Цветные оттенки и несовпадение линий профиля допускаются только в том случае, если они зрительно не воспринимаются при осмотре клетки кирпича с расстояния 10 *м*. Трещины на кирпиче не допускаются.

Лицевой кирпич может быть прямой и профильный.

Формы и размеры отверстий для пустотелого лицевого кирпича определяются ГОСТ 6316—55, а пустотелых лицевых камней ГОСТ 6328—55. Некоторые заводы вырабатывают в настоящее время лицевой семи- и девятищелевой кирпич с такими же пустотами, как и в камнях.

Водопоглощение не должно быть ниже 6 и выше 12% у лицевых изделий, изготовленных из светложгущихся глин, и 14% у изделий, изготовленных из прочих глин. Морозостойкость должна составлять не менее 25 циклов.

Лицевой кирпич вырабатывают с естественно окрашенным черепком фасадной поверхности (терракотовый), глазурованный и двухслойный. Цвет и характер обработки лицевых поверхностей обусловливают по утвержденным эталонам завода. Зарубежные заводы вырабатывают также лицевой кирпич, фасадная поверхность которого покрыта песчаными и другими зернистыми посыпками, спекающимися с поверхностью кирпича во время его обжига.

2. Требования к сырью

Глины, используемые для производства лицевых изделий, должны иметь низкую температуру спекания и его интервал не менее 100°, что обеспечивает получение изделий требуемого качества при невысоких температурах обжига. Для обожженных изделий обязателен ровный цвет, мало изменяющийся в пределах тех температур обжига, при которых материал по своим показателям (водопоглощению, прочности и др.) соответствует требованиям ГОСТов и ТУ. Глины должны быть достаточно однородны по составу, в том числе и по естественной отощенности (запесоченности), без содержания вредных примесей — зерен известняка, железистых и каменистых включений, а также повышенного количества растворимых солей, ведущих к появлению на поверхности изделий выплавок, пятен и налетов. Число пластичности глины не менее 10.

При отделке поверхности кирпича зернистыми покрытиями их порошок наносится на поверхность бруса при выходе из мундштука, а затем посыпка вдавливается в поверхность бруса специальными валиками, через которые брус проходит перед резательным автоматом.

Обжигать лицевые изделия надо природным газом. Печи должны обеспечивать возможность создания восстановительной сре-

ды, которая дает возможность получать кирпич железисто-темных оттенков и способствует лучшей спекаемости глины.

3. Технологический процесс

Лицевой кирпич и камни из тугоплавких глин изготавливают пластическим способом, но с сухой подготовкой глины. Глиняный и шамотный порошки дозируют в двухвальный сухой смеситель, а затем во втором двухвальном смесителе массу увлажняют и передают в ленточный пресс, формующий валюшку, которую вылеживают и подают во второй ленточный вакуум-пресс для формования изделий. Некоторые заводы работают без промежуточного вылеживания валюшки. Отформованные изделия сушат в туннельных сушилках и обжигают в туннельных печах.

Из красножгущихся легкоплавких глин лицевой кирпич готовят по той же технологии, что и стеновые кирпичи и камни со строгим соблюдением норм технологического режима. Формовочная влажность должна быть не более 18%, а вакуум не менее 700 *мм рт. ст.* Некоторые заводы применяют допрессовку отформованного сырца, что упрочняет сырец, предотвращает появление свилеватых трещин, обеспечивает высокую точность размеров и придает четкость углам и граням. Остаточная влажность высушенного сырца должна быть не более 6%.

Лицевой кирпич и камни светлых тонов изготавливают из светложгущихся огнеупорных и тугоплавких глин с добавкой 40—45% шамота из тех же глин. На Кучинском керамическом комбинате в последнее время шамот заменили боем динасовых огнеупоров.

При изготовлении кирпича красного цвета, а также других темных тонов в шихту вводят железосодержащие добавки — железистые руды, «хвосты» от их обогащения и другие подобные материалы. Эти добавки необходимо подвергать мокрому помолу и вводить в виде шликера при увлажнении глины в глиномялке. Для связывания растворимых солей с целью предотвращения белых налетов в глину добавляют в небольших количествах углекислый барий.

В качестве отощающей добавки для улучшения сушильных свойств сырца следует применять шамот или дегидратированную глину. Недопустимо применение опилок, изгари, шлака, золы и аналогичных материалов.

4. Изготовление глазурованного кирпича

В настоящее время заводы вырабатывают глазурованный кирпич двукратным обжигом. После первого обжига изделия шлифуются или зачищаются карборундовым камнем, поверхность их очищается от пыли и увлажняется и на нее пульверизатором наносится глазурное покрытие. Большое количество ручных операций и двукратный обжиг обусловливает высокую стоимость глазурованного кирпича. В связи с этим НИИСтройкерамикой разработана технология глазурованного кирпича с однократным обжигом [88]. Непосредственно после сушки сырец поступает на глазуровочный конвейер, на котором производят одновременно подогрев его до температуры 70° С, очистку лицевой поверхности от загрязнений, глазурование пульверизацией под давлением 2 *атм* и подсушку глазурного покрытия. После этого сырец поступает в обжиг. Укладывают его на вагонетки туннельных печей плашмя. Глазури применяются сырые или фриттованные, легкоплавкие. В НИИСтройкерамике разработаны составы легкоплавких фриттованных глазурей из дешевых материалов — стеклобоя, перлита и глины. В состав сырых глазурей Кудиновского завода входит полевой шпат, кембрийская глина, мел, марганцевая руда и различные красители.

5. Изготовление двухслойного кирпича

Светложгущиеся глины являются огнеупорными или тугоплавкими, и их месторождения встречаются относительно редко. В связи с этим производство лицевых изделий из светложгущихся глин для большинства районов СССР является практически недоступным и экономически невыгодным, так как должно базироваться на привозном, а иногда и дефицитном сырье. Еще большие трудности возникают при организации производства цветного лицевого кирпича. Окраску принимают практически только светложгущиеся глины. Керамические краски являются довольно дорогими материалами, и окрашивание всего массива керамического изделия сильно удорожает его стоимость и по экономическим соображениям почти исключает возможность организации производства цветных лицевых изделий.

Изготовление двухслойного кирпича исключает эти трудности. В двухслойном кирпиче или камне основная часть формуется из местных красножгущихся глин, а из светложгущихся окрашенных или неокрашенных глин формуется лишь лицевой слой толщиной 3—8 *мм*. В этом случае небольшой расход светложгущихся привозных глин — 0,15—0,2 $м^3$ на 1000 шт. условного кирпича, или 6—8% от общего объема массы, обусловливает возможность и экономичность широкого развития производства лицевого кирпича цветного или светлого тона фасадной поверхности.

Подбирают составы основного и облицовочного слоев так, чтобы максимально сблизить их усадку. На колпинском заводе «Победа» основную массу готовят из 60—62% кембрийской глины, 13—15% шамотного порошка, приготовленного из боя кирпича, и 23—25% песка. Облицовочная масса состоит из 65—70% часов-ярской глины и 30—35% песка. Должно быть обеспечено по-

стоянство состава исходных компонентов и высокая точность их дозировки.

Основную массу можно готовить по сухому и пластическому способам. При сухом способе [89] глиняный порошок и отощители дозируются в лопастной сухой смеситель, затем смесь увлажняется горячей водой и перерабатывается в двухвальной глиномялке, из которой масса поступает в бегуны, где можно окончательно корректировать влажность (до 18—19%). С этой влажностью основная масса поступает в вакуум-пресс СМ-443.

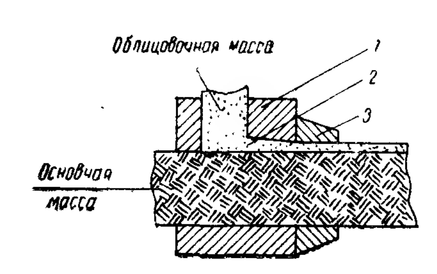


Рис. 113. Схема двухслойного формования

Компоненты облицовочной массы дозируют в двухвальную глиномялку с паровым увлажнением, затем массу обрабатывают на бегунах СМ-21А и гладких вальцах СМ-24 и подают в ленточный пресс СМ-296, который формует валюшку. Она обязательно вылеживается в течение 4—5 суток, после чего ее подают в пресс, нагнетающий облицовочную массу. Формовочная влажность облицовочной массы 20—23%.

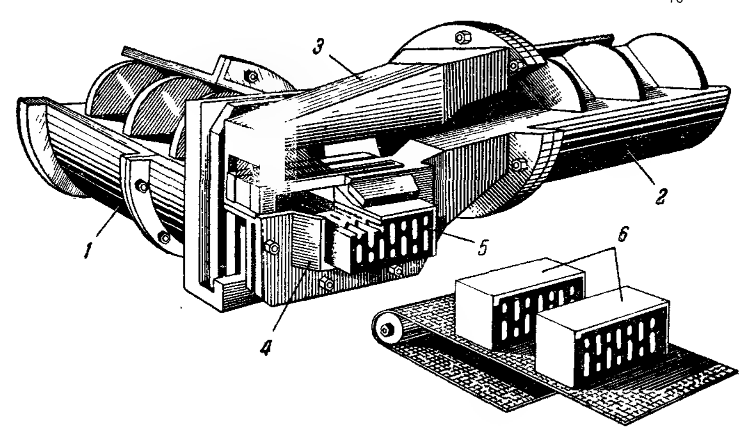


Рис 114. Схема установки для двухслойного формования керамических камней

1 — пресс основной массы; *2* — пресс облицовочного слоя; *3* — переходная головка; *4* — калибрующая рамка; *5* — брус; *6* — отрезанные камни

Принцип двухслойного формования показан на рис. 113. Головка пресса *1* имеет осевое отверстие для прохода основной массы и периферийный Г-образный паз клиновидного сечения *2* для прохода облицовочной массы. При совместном их движении облицовочный слой сцепляется с основным. Окончательную форму брусу придает калибрующая рамка *3*.

Установка для двухслойного формования изделий (рис. 114) представляет два перпендикулярно расположенных ленточных пресса, соединенных переходной головкой. В качестве основного пресса используют вакуум-пресс СМ-443, а для нагнетания облицовочного слоя — пресс СМ-712. Создан также специализированный агрегат СМ-821 для двухслойного формования керамических камней.

Дальнейшие операции технологического процесса такие же, как и для однослойного лицевого кирпича. Двухслойный кирпич на печные вагонетки укладывают плашмя. Стоимость двухслойного кирпича примерно в 1,5 раза ниже, чем однослойного, изготовленного из беложгущихся глин.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ КИРПИЧНЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Глиняный строительный кирпич, как уже отмечалось, является древнейшим искусственным строительным материалом, выдержал испытание временем в течение 5000 лет и в настоящее время продолжает оставаться преобладающим стеновым материалом. Такая «живучесть» кирпича объясняется рядом причин: повсеместным распространением кирпичных глин, возможностью использования любых видов топлива для обжига кирпича, а также осуществления технологического процесса на любом уровне механизации, начиная с кустарного производства с минимальными орудиями труда и кончая высокомеханизированными заводами-автоматами и, наконец, возможностью организовать экономичное производство как в малых, так и в больших масштабах.

Однако кирпичу присущи и существенные недостатки. Главнейшие из них — относительно большой объемный вес и малые размеры изделия. Первый недостаток преодолен переходом на пустотелые изделия. Лучшие модели современных стеновых камней имеют пустотность до 55% и соответственно объемный вес 1000—1050 *кг/м*³, что не превышает объемный вес современных легкобетонных конструкций. Второй недостаток стеновых керамических камней средствами классической керамической технологии пока преодолеть не удалось: с укрупнением размеров изделия сложности технологии сильно возрастают. Поэтому пока практически освоен выпуск изделий эквивалентных по объему максимально 10—12 шт. стандартного кирпича. Такие изделия слишком мелки для механизации их укладки в стены кранами и поэтому они продолжают оставаться изделиями «ручного мон-

тажа». Это обстоятельство не соответствует современным тенденциям строительной техники, основным признаком которых является возведение зданий индустриальными методами, в связи с чем прогрессивными строительными изделиями могут считаться лишь такие, которым присуща сборность. Кирпич и самые крупные стеновые камни сборностью не обладают и поэтому их применение в строительстве методом штучной кладки неизбежно ведет к ручному возведению стен. Кирпичная кладка является в настоящее время единственным немеханизированным процессом строительного производства и возможность механизации его пока бесперспективна.

Поэтому возникла необходимость изыскать пути индустриального применения кирпича и керамических стеновых камней в строительстве. Эта задача наиболее радикально решается изготовлением в заводских условиях из кирпича и керамических камней панелей, из которых затем на строительной площадке индустриальными методами монтируются стены.

Переходным видом сборных изделий явились крупные кирпичные блоки [90]. Их применение снизило суммарные трудозатраты (на изготовление блоков и их монтаж) на 15% в сравнении с возведением кирпичных стен методом штучной кладки. Однако вследствие того что толщина стены была той же, что и при штучной кладке, архитектурное качество фасада было низким и требовалась последующая облицовка возведенной стены, блоки оказались бесперспективными и их производство почти полностью прекращено.

§ 1. ВИДЫ КИРПИЧНЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Кирпичная, а также керамическая панель представляют собой изделия заданных размеров, в которых отдельные кирпичи и керамические камни сцементированы в монолит цементно-песчаным раствором.

По назначению различают панели для наружных и внутренних стен и специальные панели (вентиляционные, цокольные и др.).

По конструкции панели разделяются на однослойные, многослойные, сплошные и с проемами. По статической работе панели бывают несущими, самонесущими навесными (ненесущими).

Кирпичные панели наружных стен делают трех-, двух- и однослойными. Наружные слои трехслойных панелей выполняют из кирпича, уложенного плашмя; в середине панелей размещается теплоизоляционный слой толщиной 100 *мм*. Общая их толщина с фактурным и штукатурным слоями составляет 280 *мм*. Двухслойные панели состоят из одного слоя кирпича, уложенного на ребро, и слоя тепловой изоляции толщиной 120 *мм*. Общая толщина их с фактурным и штукатурным слоями 280 *мм*. Однослойные панели делают из мелких щелевых камней (ГОСТ

6328—55) толщиной 380 *мм* (1,5 кирпича) без изоляционного слоя и из укрупненных крупнопустотных или щелевых камней (см. рис. 97, *г, д*); толщина панели 30 *мм*.

Типоразмеры панелей определяются принятой конструкцией панельного дома, для возведения которого они предназначены. Панели не гостированы. Технические требования к ним определяются ведомственными нормативными документами — СН 175—61 и РСН 73—62 Госстроя УССР.

Практика изготовления и применения керамических панелей определила следующие основные условия, при которых панели могут явиться перспективными изделиями для современного строительства:

толщина наружной панельной стены должна быть не больше 30 *см*;

объемный вес панели не должен превышать 1200 *кг/м*^{3};

прочность стены должна быть не ниже 50—75 *кГ/см*^{2};

сочетание минимальной толщины и объемного веса панели должно обеспечивать требуемое для данной климатической зоны сопротивление теплопередаче (в *м*^{2}·*град*·*ч/ккал*).

Возможность выполнения этих требований зависит в значительной мере от типа керамических камней, используемых для изготовления панелей.

§ 2. СВОЙСТВА И ВЫБОР КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ

Теплотехнические свойства керамических камней зависят от их объемного веса, влажности, а также количества, размеров и формы воздушных прослоек.

Зависимость коэффициента теплопроводности керамического материала от его объемного веса приведена на рис. 115 [91]. С увеличением влажности коэффициент теплопроводности возрастает. Равновесная влажность керамического материала составляет 1—2%. Поэтому при расчете теплозащитных свойств керамических конструкций принимают для керамического материала $\lambda = 0{,}7$ *ккал/м·град·ч*.

Наиболее эффективным средством улучшения теплозащитных свойств стеновых керамических изделий является увеличение их пустотности и пористости. При этом необходимо учитывать влияние на теплозащитные свойства не только величины общей пустотности, но размеров и конфигурации пустот. Как показывает рис. 116, термическое сопротивление воздушных прослоек эффективно возрастает лишь при увеличении их толщины до 5 *см*. Затем оно стабилизируется, а пустоты чрезмерно большой величины могут даже привести к ухудшению теплозащитных свойств камня вследствие явлений внутренней конвекции в них воздуха.

На технологичность изготовления камней влияет конфигура-

ция пустот. Крупные пустоты квадратной или ромбовидной формы облегчают сушку изделий. В связи с этим НИИСтройкерамика рекомендует удлиненную ромбовидную форму пустот с приведенной шириной около 2 *см* и длиной 10 *см* при толщине перегородок 1,5 *см*. Пустотность таких камней достигает 55%, а их объемный вес 900 *кг/м³*.

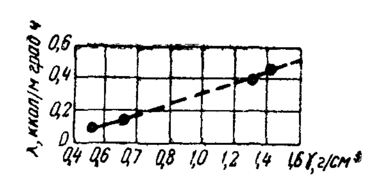


Рис. 115. Зависимость коэффициента теплопроводности керамического материала от его объемного веса в сухом состоянии

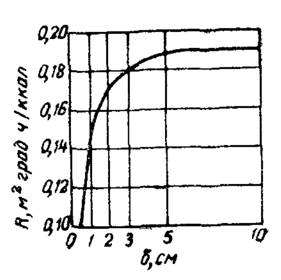


Рис. 116. Термическое сопротивление воздушных прослоек различной толщины

Зависимость прочности керамического материала и пустотелых керамических камней от их объемного веса приведена на рис. 117 [92].

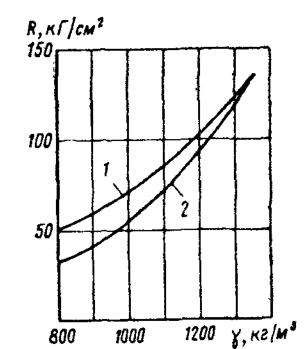


Рис. 117. Зависимости прочности от объемного веса

1 — пустотелых керамических изделий; 2 — образцов-кубиков пористой керамики

При использовании в панелях камней с крупными пустотами возникает опасность затекания в них раствора. Поэтому наряду с крупнопустотными камнями предлагается применять и щелевые камни.

По опытам НИИСМ БССР [92] наилучшие условия формования щелевых камней достигаются, когда толщина перегородок между щелями равна ширине щелей. Пустотность при этом не превышает 30—35%, что при обычном объемном весе черепка (примерно 1800 *кг/м³*) обусловливает чрезмерно большой объемный вес камня. В связи с этим для облегчения щелевых камней их необходимо формовать из массы с выгорающими добавками, с тем чтобы объемный вес их черепка не превышал 1200 *кг/м³*. При таком сочетании пористости черепка с пустотностью камня удается снизить его объемный вес до 800 *кг/м³*.

Широкое применение для керамических панелей получили также мелкие щелевые камни, укладываемые в два слоя по толщине панели. Такие панели, являясь однородными по характеру

основного материала, лишь условно могут считаться однослойными.

При выборе конструктивного типа панели и камней для ее изготовления приходится учитывать сырьевые и технические возможности кирпичных заводов [93]. Заводы, располагающие глинами, не засоренными каменистыми включениями с числом пластичности более 15, и оснащенные бегунами и вакуум-прессами, могут вырабатывать укрупненные крупнопустотные или щелевые камни и однослойные панели из них. Такие панели успешно применялись в опытном строительстве Москвы и Подмосковья. Они имели толщину 30 *см*, сопротивление теплопередаче 1,2 *м²·град·ч/ккал* и вес стены 300 *кг/м²*. Заводы с менее пластичными глинами либо не имеющие вакуум-прессов могут вырабатывать мелкие щелевые камни и панели из них, известные под названием панелей киевского типа. Они имеют толщину 38 *см*, объемный вес 1,6 *т/м³*, общее термическое сопротивление 1 *м²·град·ч/ккал* и временное сопротивлению сжатию 75 *кГ/см²* [94]. По своим техническим показателям они уступают панелям из крупнопустотных камней, но доступны для изготовления более широкому кругу кирпичных заводов. И наконец, на заводах, которые по свойствам используемого ими сырья и своей технической оснащенности могут вырабатывать только полнотелый кирпич, организовывается выпуск слоистых виброкирпичных панелей, которые также оправдали себя в строительстве [95]. Они являются наименее эффективными из керамических панелей всех видов, но все же обеспечивают возможность индустриального применения кирпича в современном строительстве.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Технологический процесс изготовления кирпичных и керамических панелей состоит из следующих основных операций: приготовление раствора; заготовка арматуры; формование панели; тепловлажностная обработка панели; отделка поверхности панели.

Для изготовления кирпичных и керамических панелей используют цементно-песчаные растворы марки 75 с консистенцией, соответствующей осадке конуса СтройЦНИЛ 9—11 *см*. Применение теплых растворов, изготовленных на керамзитовом песке, дает возможность повысить термическое сопротивление панели. Растворы готовятся на типовых растворных узлах с растворомешалками С-50.

Способы производства. Арматуру изготовляют в виде сварных сеток. Формовать панели можно двумя способами: горизонтальным и вертикальным.

При горизонтальном способе металлическая форма, очищен-

ная от остатков раствора, устанавливается на виброплощадку и на ее дно укладывается слой фактурного раствора. В случае облицовки панели мозаичными керамическими плитками на дно формы укладываются бумажные ковры из плиток тыльной стороной вверх, а на них расстилается раствор. Затем укладывают арматурную сетку, керамические камни и на них раствор. После этого форма вибрируется для обеспечения полного заполнения швов раствором, и потом укладывается слой штукатурного раствора, который разравнивается и заглаживается. Изготовленная панель подвергается тепловлажностной обработке в форме.

При вертикальном способе панель формуется на неподвижном поддоне или на поддоне-вагонетке. Камни укладывают в кондукторе, точно фиксирующем габаритные размеры панели. Рабочие, укладывающие в кондуктор керамические камни и раствор, находятся на подвижной площадке, которая лебедкой перемещается вверх по мере наращивания рядов камней в панели. Панель, сформованная на неподвижном поддоне, накрывается колпаком для тепловлажностной обработки, а изготовленная на поддоне-вагонетке отправляется в пропарочную камеру туннельного типа.

Виброкирпичные панели изготавливаются только горизонтальным способом.

Камни в формы и кондукторы пока укладывают вручную, что является наиболее крупным недостатком в технологии керамических панелей, обусловливающим кустарный характер их производства. Разработанные многочисленные конструкции автоматов для механизации этого процесса [96] не прошли еще промышленных испытаний.

Тепловлажностную обработку панелей осуществляют в пропарочных камерах ямного типа, на обогреваемых стендах под колпаками и в туннельных камерах щелевого типа. При вертикальном способе формования тепловлажностная обработка панелей производится в цехах полигонного типа — под колпаками, а на заводах круглогодового действия — в туннельных пропарочных камерах. В качестве теплоносителя используют водяной пар, дымовые газы и нагретый воздух. Подогрев изделий до 80° С длится 2—3 *ч*, изотермическая выдержка 6—8 *ч*, охлаждение 2—3 *ч*. После тепловлажностной обработки панель поступает на пост отделки, где вручную устраняются дефекты ее фасадной и внутренней поверхности. Готовые панели хранятся в открытых складах в вертикальном положении.

Армированные керамические панели применяются за рубежом также для междуэтажных перекрытий. В нашей стране такие работы проводились [97], однако промышленного производства панелей не существует и оно не планируется в связи с повсеместным применением для этой цели железобетонных панелей.

Себестоимость 1 $м^2$ керамической панели, изготовленной вертикальным способом, составляет 8 руб. 38 коп. Это наиболее дешевые из всех известных до сего времени видов панелей.

Техника безопасности. Источником профессиональных заболеваний при производстве панелей горизонтальным способом являются вибрационные воздействия на рабочих, обслуживающих виброплощадку, вызывающие специфическое заболевание — виброболезнь. Поэтому при монтаже виброплощадок необходимы специальные мероприятия, исключающие или существенно ослабляющие передачу вибрационных воздействий на обслуживающий персонал.

Источником травматизма могут быть туманы, возникающие в отделении тепловлажностной обработки и ухудшающие видимость в производственных помещениях. Для их предотвращения необходимо содержать в исправном состоянии затворы и двери пропарочных камер, вентилировать камеры в стадии охлаждения панелей, а производственные цехи оборудовать приточной вентиляцией нагретым воздухом, способным поглощать водяные пары.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМЗИТА

Материалы керамзитовой структуры являются новой группой керамических строительных материалов. При производстве всех изделий классическими методами керамической технологии стремятся в обжиге достичь той или иной степени спекания керамического черепка, а материалы керамзитового типа получают наоборот вспучиванием при обжиге глиняной массы. Вспучивание — это увеличение материала в объеме за счет образования внутренних преимущественно замкнутых пор. В изломе вспученный материал имеет структуру застывшей пены. Таким образом, керамзитовыми материалами мы будем называть такие, которые получаются вспучиванием глинистых пород при их обжиге.

Материалами такого типа является керамзитовый гравий, керамзитовый песок и штучный керамзит. Последний известен также под названием ячеистой керамики и пенокералита. Наибольшее развитие получило производство керамзитового гравия, который обычно именуется просто керамзитом. Керамзитовый гравий был запатентован Стефаном Хейдом (США, 1918 г.) и известен за рубежом под названием хайдита. В СССР опытные работы по керамзитовому гравию были начаты в 20-х годах Е. В. Костырко, а в послевоенные годы продолжены С. П. Онацким [98] и другими исследователями. Первое опытно-промышленное производство керамзита было организовано в нашей стране в 1939 г., но в широких масштабах промышленное производство керамзита в СССР началось в 50-х годах. В 1965 г. было выпущено 6,3 млн. $м^3$ керамзитового гравия, а к 1970 г. выпуск его должен превысить 13 млн. $м^3$.

Керамзитовый гравий применяется в качестве заполнителя для легких бетонов. Последние обладают более высокими теплозащитными свойствами, что дает возможность уменьшить толщину и вес наружных стен, а это является одной из предпосылок, обусловливающих возможность индустриализации строительства. Каждые 10% уменьшения веса конструкции снижают ее себестоимость в деле на 3%. Таким образом, переход от тяжелых бетонов с объемным весом 2400 *кг/м³* к легким бетонам с объемным весом 1200—1400 *кг/м³* (предельно 1800 *кг/м³*) является существенным источником снижения себестоимости строительства. Этим объясняется большая программа строительства керамзитовых предприятий в нашей стране, производственная мощность которых к 1970 г. должна превысить 15 млн. *м³*.

§ 1. СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ

Требования к керамзитовому гравию регламентированы ГОСТ 9759—65. Основными являются объемный вес, коэффициент формы, морозостойкость, прочность.

Объемным весом в куске называется отношение веса G высушенного при 110° С образца к его полному объему V, т. е. суммарному объему пор и плотной части материала

$$\gamma_0 = \frac{G}{V}\ г/см^3,\ или\ кг/м^3. \qquad (86)$$

Приведенное определение называют также объемным весом материала в куске. Для сыпучих кусковых материалов (керамзит, аглопорит) важной характеристикой является их насыпной объемный вес $\gamma_н$, под которым понимают вес единицы объема, в который включен также объем межзерновых пустот.

Показателем прочности керамзита является сопротивление сжатию порции керамзита, насыпанной в стальной цилиндр, при сдавливании ее поршнем на глубину 20 *мм*. По насыпному весу различают 12 марок керамзита, а по прочности 2 класса (табл. 22).

Таблица 22

Марки керамзита

Марки гравия	Прочность гравия в кГ/см² для классов		Водопоглощение в течение 1 ч в % по весу, не более	Марки гравия	Прочность гравия в кГ/см² для классов		Водопоглощение в течение 1 ч в % по весу, не более
	А	Б			А	Б	
150	4	3	—	450	20	17	20
200	5	4	25	500	25	20	20
250	8	6	25	550	30	23	20
300	10	8	25	600	35	30	20
350	14	10	25	700	45	30	15
400	17	14	25	800	60	40	15

По величине зерен различают три фракции: 5—10, 10—20 и 20—40 *мм*. Керамзит с крупностью зерен менее 5 *мм* относится к керамзитовому песку.

По морозостойкости керамзит должен выдерживать не менее 15 теплосмен с потерей в весе не более 8%. Потеря в весе после 4-часового кипячения не должна превышать 5%, а отпускная влажность — 2%.

Большое влияние на качество керамзита как заполнителя бетона оказывает коэффициент формы $K_ф$, т. е. отношение максимального размера зерна к минимальному. По ГОСТ допускается средняя величина $K_ф \leqslant 1{,}5$. Содержание в гравии расколотых зерен не должно превышать по весу 15%. Методы испытаний керамзитового гравия регламентированы ГОСТ 9758—61.

Большое значение имеет однородность свойств керамзита. Отдельные чрезмерно легкие, а следовательно, и наименее прочные зерна в партии керамзита, не уменьшая существенно его объемного веса, могут явиться в бетоне начальными очагами его разрушения. Аналогично этому отдельные чрезмерно тяжелые зерна, не увеличивая общую прочность бетона, в то же время образуют «мостики холода», ухудшая теплозащитные свойства бетонного изделия. Степень однородности керамзита при анализе качества готовой продукции керамзитового предприятия можно оценивать по коэффициенту однородности.

§ 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВСПУЧИВАНИЯ ГЛИН

Для уяснения основных закономерностей процесса вспучивания глиняной гранулы рассмотрим его в самом схематическом приближении. Представим себе, что нагревается полый глиняный шарик (рис. 118), который можно уподобить элементарной поре глиняной гранулы. Во время нагрева при достижении определенной температуры (индивидуальной для каждой глины) глиняная оболочка рассматриваемого шарика начнет размягчаться, спекаться и в конечном счете уплотнится и станет газонепроницаемой, находясь в пиропластическом состоянии, т. е. будучи способной к пластическим деформациям без разрыва сплошности. Если в этот момент внутри шарика по каким-либо причинам начнут выделяться газы, то, не имея выхода через оболочку, они будут создавать во внутренней полости шарика избыточное давление, под воздействием которого размягченная оболочка начнет расширяться.

Так происходит вспучивание элементарной ячейки глины. Сумма таких элементарных актов и обусловит общий процесс вспучивания глиняной гранулы. При этом, рассматривая процесс вспучивания всей гранулы, необходимо иметь в виду, что по своей толще она нагревается неравномерно: с поверхности нагрев происходит быстрее, чем в центре. Поэтому поверхность гранулы еще до того, как вся ее масса приобретет пиропластическое со-

стояние, покрывается плотной спекшейся газонепроницаемой оболочкой, предотвращающей утечку газов из гранулы даже в том случае, если под давлением газов отдельные перегородки пор окажутся прорванными.

Таким образом, основным условием, обеспечивающим вспучивание глинистых пород при их нагревании, является совмещение во времени пиропластического состояния глины с интенсивным газовыделением внутри обжигаемого материала. Важно усвоить, что каждый из этих факторов в отдельности еще

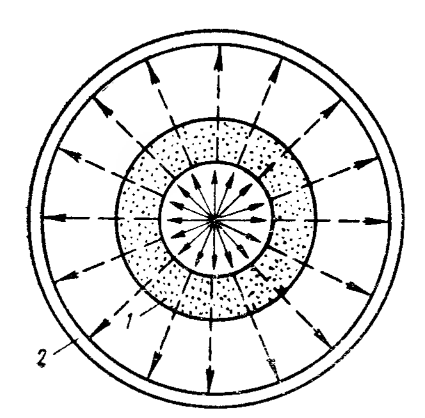


Рис. 118. Схема вспучивания элементарной ячейки глиняной гранулы

1 — пористая оболочка необожженной гранулы; *2* — спекшаяся оболочка вспученной гранулы

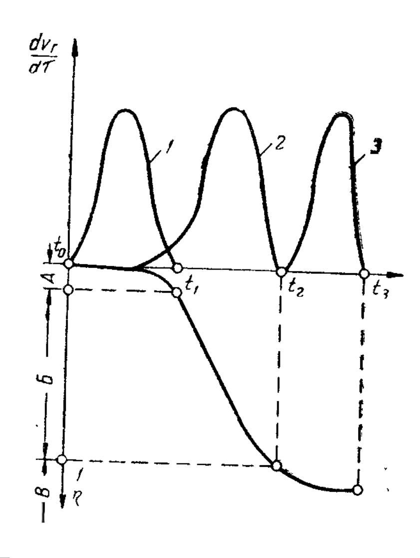


Рис. 119. Диаграмма газовыделения в глинах и их размягчения при нагревании

1, 2, 3 — глины с различными температурными интервалами газовыделения. Состояния нагретой глины: *А* — хрупкое; *Б* — пиропластическое; *В* — вязкотекучее

не обеспечивает возникновения процесса вспучивания, необходимо, чтобы они действовали одновременно. Поясним это рассмотрением диаграммы рис. 119. На оси абсцисс этой диаграммы отложена температура нагрева глины, на оси ординат вверх от абсциссы — ее газотворная способность, т. е. интенсивность газовыделения $\frac{dV_г}{d\tau}$, а вниз от абсциссы — подвижность глиняной массы — величина, обратная ее вязкости $1/\eta$. В верхней части диаграммы изображены кривые газотворной способности трех глин. Все они характеризуются одинаковым изменением подвижности, кривая которой приведена в нижней части диаграммы. В интервале температур t_0—t_1 подвижность глины ничтожно мала: она является хрупкой пористой системой. Газы, образующиеся в этом температурном интервале, могут свободно удаляться через

поры глиняной гранулы, не создавая внутри нее избыточного давления и, следовательно, не производя работы вспучивания. Если же в этом температурном интервале интенсивность газовыделения будет опережать фильтрацию газов через поры гранулы, то возникающее внутреннее избыточное давление будет разрывать гранулу на мелкие части, так как, будучи в хрупком состоянии, она не способна к пластическим деформациям. Таким образом, глина № 1, в которой по времени совпадают хрупкое состояние с интенсивным газовыделением, вспучиться не может. Не произойдет вспучивания и у глины № 3. У ней максимум газовыделения оказывается сдвинутым в область температур t_2 — t_3. В этом интервале подвижность глины чрезмерно велика, она становится вязко-текучей системой с ничтожной прочностью перегородок пор. Газы, находясь в этих порах под избыточным давлением, будут легко разрывать перегородки и удаляться из гранулы, не производя работы вспучивания. И только глина № 2 обладает оптимальными условиями для вспучивания: в ней максимум интенсивности газовыделения находится в том же температурном интервале t_1 — t_2, в котором глине свойственно пиропластическое состояние. Таким образом, для осуществления процесса вспучивания глины необходимо, чтобы она обладала газотворной способностью, была приведена в пиропластическое состояние и оба эти фактора совпадали по времени. Изучение каждого из этих факторов и условий, обеспечивающих их совместное действие, и составляет предмет теории вспучивания глины.

1. Факторы, обусловливающие газотворную способность глины

По этому вопросу в настоящее время определились два взгляда. Согласно первому источником газотворной способности глины являются преимущественно реакции разложения и восстановления окислов железа при их взаимодействии с органическими примесями или добавками в глине (Джексон, Костырко, Онацкий). Схема этих реакций может быть выражена следующими уравнениями:

$$6Fe_2O_3 \longrightarrow 4Fe_3O_4 + O_2;$$

$$2Fe_3O_4 \longrightarrow 6FeO + O_2;$$

$$Fe_2O_3 + C = 2FeO + CO;$$

$$Fe_2O_3 + CO = 2FeO + CO_2.$$

Этот взгляд подкрепляется тем, что глины, которые в природном состоянии содержат значительное количество железистых и органических примесей, хорошо вспучиваются. Добавка в глину железистых примесей (например, пиритных огарков), а также органических веществ (уголь, соляровое масло, мазут, торф) увеличивает способность глины вспучиваться.

Однако указанные восстановительные реакции развиваются при температурах 750—900° С, которые существенно ниже температур вспучивания (1150—1250° С) и протекают с очень большой скоростью [99]. Кроме того, в отдельных случаях вспучиваются глины, не содержащие железистых примесей [100]. В связи с этим по второй гипотезе полагают, что газообразная фаза при вспучивании глин образуется за счет дегидратации слюдистых минералов, которые присутствуют в глинах в качестве примесей и распадаются с выделением водяных паров при температурах, близких к температуре вспучивания глин. Железистым окислам в этой гипотезе отводится вспомогательная роль — их присутствие облегчает и ускоряет распад слюдистых минералов [100, 101].

С нашей точки зрения, противопоставление двух указанных гипотез лишено практического смысла, поскольку ни одна из них не учитывает влияние фактора времени и интенсивности теплообмена, которые при производственном обжиге керамзита обусловливают возможность одновременного выделения гидратной воды и газов восстановительных реакций и, следовательно, участия их обеих в образовании газообразной фазы, совершающей работу вспучивания. Благодаря наличию в толще обжигаемой гранулы температурного перепада спекшаяся газонепроницаемая наружная оболочка может возникнуть на ее поверхности прежде, чем центр гранулы прогреется до температуры начала восстановительных реакций. А когда центр гранулы прогреется до этой температуры, то газы восстановительных реакций, не имея выхода наружу, будут накапливаться в порах гранулы и в последующем будут участвовать в совершении работы вспучивания [98].

Так как температуру реакции обычно отождествляют с температурой печной среды, при которой эта реакция наступает, то воздействие температурного перепада фиксируется обычно как сдвиг реакции в область более высоких температур [102].

2. Факторы, обусловливающие возникновение пиропластического состояния

Пиропластическое состояние глины наступает в результате накопления в ней достаточного количества жидкой фазы — силикатного расплава. Интенсивность накопления жидкой фазы зависит прежде всего от химического состава глины: она возрастает с увеличением содержания щелочей в глине и резко убывает по мере возрастания в ней количества свободного кварца.

Сильное влияние на процесс накопления жидкой фазы оказывает химический характер газовой среды: восстановительная среда резко интенсифицирует процесс. Это связано главным образом с переводом Fe_2O_3 в FeO согласно приведенным ранее уравнениям химических реакций. Важно иметь в виду, что процесс восстановления окисного железа в закисное сопровождается повышением молекулярной концентрации реагирующих окислов, так как из одной молекулы Fe_2O_3 образуется $2FeO$. Если вспомнить из физической химии одно из следствий закона Рауля, согласно которому температура плавления смеси понижается пропорционально молекулярной (а не весовой) концентрации реагирующих веществ, то становится понятным, что процессы восстановления окислов железа резко интенсифицируют процесс перехода глины из хрупкого в пиропластическое состояние. Некоторые авторы считают, что благотворное действие железистых окислов на вспучиваемость глины объясняется именно этим фактором, а не газотворной способностью этих процессов. Наиболее интенсивно восстановительные процессы развиваются при взаимодействии железистых окислов с органическими веществами. Поэтому наличие органических примесей или добавок в глине способствует заметному повышению их вспучиваемости.

Атомы железа могут входить в гидроокиси, присутствующие в глинистой породе в качестве примесей, и в состав кристаллической решетки глинообразующих минералов, участвуя в образовании их изоморфно замещенного комплекса. Влияние каждого из этих видов железа на вспучивание глины не одинаково: наиболее благоприятное влияние оказывают так называемые «свободные» железистые окислы, входящие в состав гидроокисей [102].

3. Влияние режима нагрева глины на ее вспучиваемость

Помимо факторов, обусловленных составом глины, на ее вспучиваемость оказывает влияние и режим нагрева, создающий определенную интенсивность теплообмена [98]. Это связано с тем, что величина температурного перепада, возникающего в грануле и зависящего от интенсивности теплообмена, может оказывать решающее влияние на процесс вспучивания глины и возможность ее обжига на керамзит в производственных условиях. Поясним это рассмотрением диаграммы рис. 120, на которой по оси абсцисс откладывается длительность нагрева τ, а на оси ординат — температура t. Отложим на оси ординат три температуры: начала газовыделения $t'_г$, начала спекания $t'_с$ и начала плавления $t'_{пл}$. Температуру поверхности гранул обозначим через $t_п$, а ее центра — через $t_ц$. На оси абсцисс будем откладывать момент времени τ_1, когда оболочка начинает спекаться, т. е. когда $t_п = t'_{сп}$, и τ_2 — момент начала газовыделения в центре гранулы ($t_ц = t'_г$). Приняв эти обозначения, рассмотрим три случая нагрева глины с разной интенсивностью теплообмена. При высокой интенсивности теплообмена (рис. 120, *а*) устанавливается большой перепад между температурами центра $t_ц$ и поверхностью гранул $t_п$. Однако вспучиваться глина не будет, так как в момент τ_1, когда появляется спекшаяся оболочка, температура

центра гранулы еще не достигла температуры начала газовыделения (при τ_1, $t_ц < t'_г$). Доводить же температуру центра гранулы до температуры начала газовыделения в данном случае нельзя, так как оболочки гранул начнут оплавляться, потеряют сыпучесть и «сварятся» в сплошной конгломерат — «козел» (при τ_2, $t_п > t'_{пл}$).

На рис. 120, *б* изображены кривые температур поверхности и центра гранулы при низкой интенсивности теплообмена. В этом

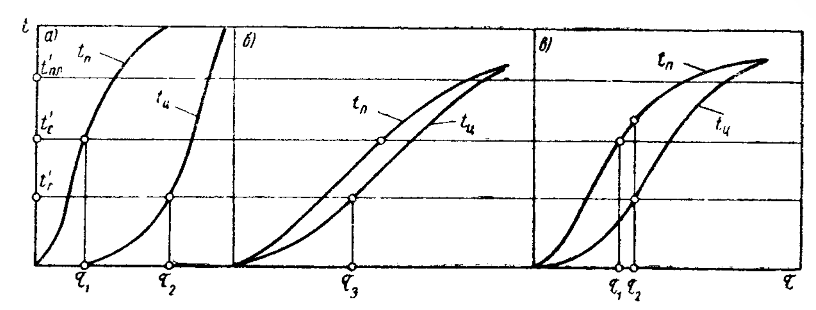


Рис. 120. Схема, поясняющая влияние интенсивности нагрева гранул на их вспучиваемость

случае перепады температур внутри гранулы очень малы и вспучивания также не произойдет, но уже по другой причине: когда начинается газовыделение, оболочка продолжает оставаться пористой (при τ_2, $t_п < t'_{сп}$) и газы свободно будут покидать гранулу, не производя работы вспучивания.

И только при оптимальной интенсивности теплообмена, при которой соотношение температур поверхности и центра гранулы соответствует диаграмме рис. 120, *в*, гранула будет вспучиваться. В этом случае в момент начала газовыделения τ_2, когда $t_ц = t'_г$, оболочка является уже спекшейся (при τ_2, $t_п > t'_{сп}$) и в то же время еще не оплавленной ($t_п < t'_{пл}$).

Таким образом, варьируя интенсивностью теплообмена, можно по-разному реализовать потенциальную возможность глины вспучиваться.

§ 3. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОВЫХ ГЛИН

1. Коэффициент вспучивания

Коэффициентом вспучивания называется отношение объема вспученной гранулы к объему сухой гранулы до ее вспучивания. Его можно подсчитать по формуле

$$K_{всп} = \frac{\gamma_0^г (1 - 0{,}01 П_п)}{\gamma_0^к}, \qquad (87)$$

где $\gamma_0^г$ и $\gamma_0^к$ — объемные веса в куске соответственно сухой и вспученной гранулы в *г/см³*; $П_п$ — потери при прокаливании в %.

На величину коэффициента вспучивания влияет гранулометрический состав глин. Результаты исследования глины четырех месторождений, проведенные А. В. Жуковым [103] с целью выявления влияния отдельных фракций глинистой породы на ее вспучиваемость, дали следующие результаты.

Фракция	Коэффициент вспучивания
Нефракционированная глина	1,2—3,5
Менее 1 *мк*	4,83—9
1—10 *мк*	2,5—4
Более 10 *мк*	Не вспучивается

Таким образом, коэффициент вспучивания глины возрастает с увеличением содержания в породе глинистой фракции и резко понижается с увеличением содержания пылевидной и песчанистой фракции.

Влияние химического состава на вспучиваемость глин сказывается прежде всего в содержании свободного кремнезема. С достоверностью установлена следующая зависимость вспучиваемости глин от содержания свободного кремнезема.

Содержание свободного кремнезема в %	Вспучиваемость глины
Менее 20	Хорошо вспучивается без добавок
10—30	Вспучивается только с добавками
Более 30	Непригодна для производства керамзита

В связи с этим при химическом анализе глин, предназначаемых для производства керамзита, нужно всегда выделять содержание свободного кремнезема, а также свободного железа, которое обусловливает более растянутый интервал спекания глины и, как следствие, повышение ее вспучиваемости.

Минеральный тип глины также влияет на ее вспучиваемость: наихудшей вспучиваемостью обладают каолинитовые глины; гидрослюдистые глины вспучиваются лучше, чем монтмориллонитовые, хотя встречаются и обратные случаи.

По степени вспучиваемости различают следующие четыре группы глинистого сырья:

Группа глинистого сырья	Объемный вес пористого черепка в куске в *кг/м³*
Высоковспучивающееся	Не более 400
Средневспучивающееся	400—750
Слабовспучивающееся	750—1500
Невспучивающееся	1500 и более

2. Коэффициент выхода

Коэффициентом выхода называется насыпной объем керамзитового гравия, полученного из 1 $м^3$ сухих глиняных гранул. Он определяется по формуле

$$K_{\text{вых}} = \frac{\gamma_{\text{п}}^{\text{г}}\left(1 - 0{,}01 П_{\text{п}}\right)}{\gamma_{\text{п}}^{\text{к}}}, \qquad (88)$$

где $\gamma_{\text{н}}^{\text{г}}$ и $\gamma_{\text{н}}^{\text{к}}$— насыпные веса соответственно сухих глиняных и вспученных гранул.

Связь между коэффициентами вспучивания и выхода определяется формулой

$$K_{\text{вых}} = \frac{K_{\text{всп}}}{(1 - 0{,}01 П_{\text{п}}) \dfrac{\left(100 - V_{\text{п}}^{\text{к}}\right)}{\left(100 - V_{\text{п}}^{\text{г}}\right)} K_{\text{н}d}\, K_{\text{н}t}}, \qquad (89)$$

где $V_{\text{п}}^{\text{г}}$, $V_{\text{п}}^{\text{к}}$ — объем межзерновых пустот в % соответственно глиняных гранул и керамзита; $K_{\text{н}d}$ — коэффициент неоднородности диаметра керамзитовых гранул, т. е. отношение насыпного веса всех фракций керамзита к насыпному весу фракции 20—40 *мм*; $K_{\text{н}d} = 1{,}2 \div 1{,}3$; $K_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности обжига, учитывающий изменение объемного веса керамзита вследствие неравномерности обжига; $K_{\text{н}t} = 1{,}2 \div 1{,}5$;

$$\frac{100 - V_{\text{п}}^{\text{к}}}{100 - V_{\text{п}}^{\text{г}}} = 1{,}15 \div 1{,}2.$$

Несложный анализ формулы (89) показывает, что коэффициент выхода всегда ниже коэффициента вспучивания и именно по нему следует оценивать возможный объемный вес керамзита при обжиге гранул в производственных условиях. Соотношение между коэффициентами выхода и вспучивания по данным С. П. Онацкого приведено на рис. 121.

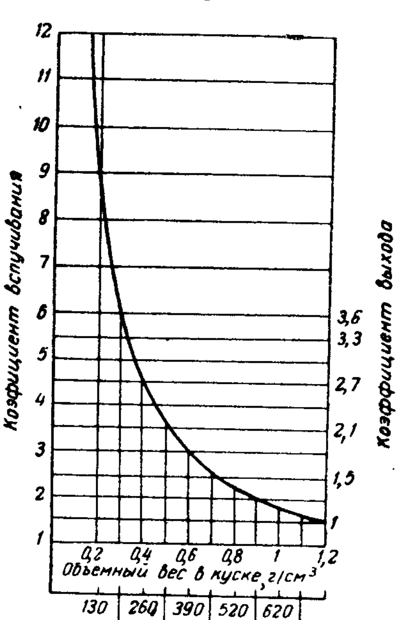


Рис. 121. Соотношение между коэффициентами вспучивания и выхода, объемным и насыпным весами керамзита

3. Интервал вспучивания

Интервалом вспучивания $\Delta t_{\text{всп}}$ называется разность между предельной температурой нагрева глины $t'_{\text{пл}}$ и температурой начала вспучивания глины $t'_{\text{всп}}$. Следовательно:

$$\Delta t_{\text{всп}} = t'_{\text{пл}} - t'_{\text{всп}}. \qquad (90)$$

В качестве температуры начала вспучивания принимают температуру, при которой объемный вес гранулы в куске становится равным 0,95 *г/см³*. За предельную температуру обжига принимают температуру начала оплавления поверхности гранулы [104]. Интервал вспучивания глин для керамзита должен быть не менее 50°. Оптимальной для вспучивания является температура, при которой вязкость глины понижается до $\eta = (5—8)\,10^7$ *пз*. Температуре начала вспучивания соответствует вязкость $\eta = 10^9$ *пз*.

§ 4. ДОБАВКИ В ГЛИНУ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМЗИТА

Для повышения вспучиваемости слабовспучивающихся глин применяют следующие добавки (в % по весу):

пылевидной железной руды	2—4
глины охристой	10—20
глины огнеупорной	10—20
пиритных огарков	2—4
опилок древесины	2—4
каменного угля (молотого)	1—2
торфа	2—4
масла солярового	1—3
мазута	1—3
сульфитно-спиртовой барды	2—4

Огнеупорная глина расширяет интервал вспучивания, опилки и сульфатно-спиртовая барда повышают трещиностойкость гранул в сушке; основное назначение остальных добавок — увеличить газотворную способность глины.

§ 5. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ

Технологический процесс производства керамзитового гравия складывается из карьерных работ, обработки глины, формования гранул, сушки гранул, обжига керамзита, охлаждения керамзита и сортировки керамзита.

Карьерные работы при производстве керамзита не имеют какой-либо специфики. Можно лишь отметить, что вопросы усреднения состава глины путем ее промежуточной экскавации имеют еще большее значение, чем при производстве стеновой керамики.

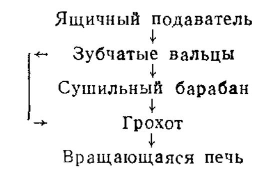
В зависимости от методов обработки глины и приготовления гранул различают три способа производства керамзита: сухой,

пластический и шликерный. Решающее значение на выбор способа производства оказывают свойства сырья.

1. Сухой способ

При сухом способе глиняные гранулы не формуются, а образуются дроблением и рассевом карьерной глины. По этому способу можно и целесообразно получать керамзит из камнеподобных, сланцевых хрупких глин, трудно размокающих в воде. При дроблении такие глины дают объемную крошку с относительно небольшим выходом мелочи — до 15%. Если глины обладают ярко выраженной спайностью и при дроблении дают большое количество «лещади» — тонких пластинок, то для производства керамзита они не пригодны, так как лещадь практически не вспучивается. Кроме того, эти глины не должны содержать включений известняка, ибо при этом способе удалить их из глины невозможно.

Типичная для сухого способа схема подготовки гранул такова:



Гранулы подсушивают лишь при карьерной влажности глины $\omega_к > 8\%$. При грохочении дробленой глины ее надо рассеивать по фракциям с тем, чтобы в последующем каждую фракцию обжигать в отдельной печи, так как режим обжига должен быть дифференцированным в зависимости от крупности фракции.

Сухой способ наиболее экономичен по капиталовложениям и эксплуатационным затратам. Однако возможность его применения ограничена, так как месторождения камнеподобных высоковспучивающихся глин встречаются крайне редко, а повышать вспучиваемость таких глин введением добавок при этом способе невозможно.

2. Пластический способ

По этому способу гранулы формуют из пластичной глиняной массы. Его целесообразно применять для глин с рыхлой и плотной структурой, намокающих в воде, когда карьерная их влажность ниже нормальной формовочной влажности. Содержание каменистых включений в глине не должно превышать 10%, а включения известняка по размерам не должны быть больше 1 *мм*.

Типичная схема подготовки гранул при этом способе такова.

Глина → Ящичный подаватель с рыхлителем
Твердые добавки → **Дезинтеграторные вальцы**
Жидкие добавки → **Двухвальная глиномялка**
Дырчатые вальцы перерабатывающие
Дырчатые вальцы формующие
Сушильный барабан
Вращающаяся печь

На многих действующих заводах установлены только дырчатые вальцы, которые одновременно являются и перерабатывающими и формующими. Однако практика показала, что в этом случае гранулы получаются с посеченной поверхностью и, как следствие, пониженной прочности.

Первые керамзитовые предприятия в нашей стране в качестве формующей машины применяли не дырчатые вальцы, а ленточные прессы (некоторые из них работают так и в настоящее время). Замена ленточных прессов дырчатыми вальцами была вызвана тем, что при наличии в глине включений перфорированная решетка пресса часто засорялась. Кроме того, дырчатые вальцы являются машиной более компактной и легкой: их можно монтировать на этажерках и перекрытиях этажей, в то время как для ленточных прессов необходим массивный фундамент. Однако в настоящее время выявился и существенный недостаток дырчатых вальцов как формующей машины — длина гранул не может регулироваться и, как правило, получаются гранулы с большим коэффициентом формы, понижающим прочность керамзита. Ленточные прессы дают возможность получать гранулы заданной длины, т. е. регулировать коэффициент формы керамзита. Однако в связи с тем, что в ГОСТ 9759—61 величина коэффициента формы не регламентировалась, большинство керамзитовых предприятий продолжает формовать гранулы на дырчатых вальцах.

Гранулы перед обжигом сушат не всегда. В некоторых случаях отмечается повышенная вспучиваемость гранул при их поступлении в печь непосредственно с формовочной машины без предварительной сушки. Однако такая технология применима только при высокой трещиностойкости глин в сушке и высокой их вспучиваемости. В последнем случае, если гранулы в печи даже разрушатся, то их осколки все равно будут вспучиваться, давая легкий керамзит. Осколки гранул из средне- и слабовспучивающихся глин в обжиге почти не вспучиваются и заметно утяжеляют керамзит. Отсутствие предварительной сушки гранул неудобно еще и потому, что формовочное отделение должно работать в три смены, а перебои в работе формовочного оборудования немедленно вызывают нарушения в работе печи.

Пластический способ является более сложным и дорогим, чем сухой, но зато допускает использование глин более распростра-

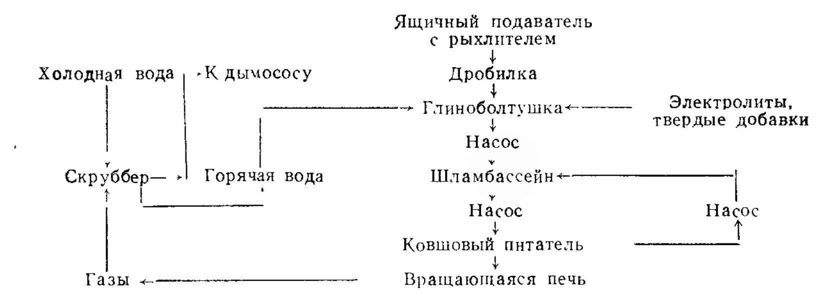
ненных разновидностей и дает возможность вводить в глину добавки, повышающие ее вспучиваемость. Поэтому он получил преимущественное распространение.

3. Шликерный способ

При шликерном способе отсутствует операция формования гранул: во вращающуюся печь подают глиняный шликер и формирование гранул происходит самопроизвольно в самой печи.

Шликерный способ целесообразно применять при высокой карьерной влажности глин, когда она выше формовочной, для глин, природную структуру которых трудно разрушить методами пластической переработки, при добавках высоковязких глин и при содержании каменистых включений в глине более 10%.

Схема подготовки гранул по этому способу такова.



Для первичного дробления глины могут применяться дезинтеграторные вальцы, валково-зубчатые дробилки и дисковая глинорезка конструкции Обуховского ДСК (Ленинград) (рис. 122) [105]. Этот комбинат впервые в нашей стране осуществил шликерный способ производства керамзита с использованием глиноболтушки типа «Полизиус», распространенной в цементной промышленности. Емкость такой глиноболтушки составляет 35 $м^3$. Электролиты (жидкое стекло и сода) для разжижения шликера добавляют непосредственно в глиноболтушку. Для кембрийской глины они дают возможность снизить влажность шликера с 65—70 до 49—55% с сохранением его консистенции. Длительность перемешивания при указанных влажностях составляет 3 *ч*, а с понижением влажности до 45—48% она возрастает до 4—4,5 *ч*. Подготовленные твердые добавки также вводятся в глиноболтушку. Пиритные огарки, содержащие анионы сернистых окислов, блокируют разжижающее действие электролитов, что делает необходимым повышение влажности шликера. В связи с этим в настоящее время разрабатывается вопрос о предварительной промывке пиритных огарков перед загрузкой в глиноболтушку.

Приготовленный в глиноболтушках шликер должен иметь текучесть до 10 *сек* и растекаемость 65—75 *мм* (определяют на приборе МХТИ ТН-2 [106]. Для перекачивания шликера наилучшими оказались насосы типа ШН-150.

Запас подготовленного для обжига шликера хранится в специальных емкостях-шламбассейнах. Бассейн цилиндрический, с диаметром в свету 4,3 *м*, высотой 10 *м* и рабочей емкостью 90 $м^3$. Мешалка с 5,5 оборота в 1 *мин* не обеспечивает достаточно интенсивного перемешивания, предотвращающего оседание твердой части шликера. Более надежными средствами являются барботаж посредством нагнетания компрессором в бассейн сжатого воздуха через центральную перфорированную трубку либо непрерывная циркуляция шликера путем его перекачки насосами.

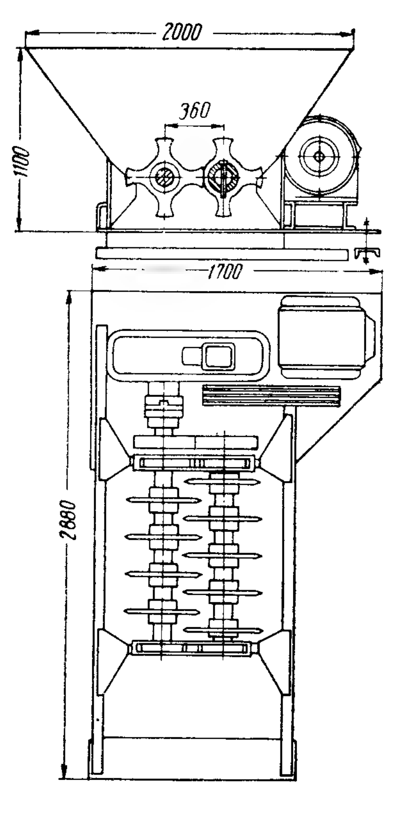


Рис. 122. Дисковая глинорезка

Использование горячей воды от скубберной очистки отходящих печных газов для распускания глины в глиноболтушках возможно только в том случае, если печь работает на природном газе и в составе шликера не содержится компонентов, выделяющих при обжиге сернистые окислы.

Шликерный способ дает возможность использовать наибольшее количество разновидностей глин. Размораживать глины можно в глиноболтушках, поэтому отпадает необходимость утеплять карьеры и склады глины, разрабатываемые в зимнее время. Значительно упрощается при шликерном способе очистка глины от каменистых и карбонатных включений. Керамзит получается более легким, чем при пластическом способе.

Недостатками этого способа являются повышенный расход топлива и пониженная производительность печей (примерно на 30%); керамзит получается более мелким, чем при пластическом способе. Последнее в отдельных случаях является достоинством этого способа.

4. Обжиг керамзитового гравия

Керамзитовый гравий обжигают во вращающихся однобарабанных и двухбарабанных печах. Наибольшее распространение получили однобарабанные печи трех типоразмеров 40×2,5, 22×2,3 и 12×1,2 *м*. Очень редко используют печи других типоразмеров с максимальной длиной 60 *м*.

Процессы, происходящие в 40-метровой вращающейся печи при обжиге недосушенных глиняных гранул, представлены на

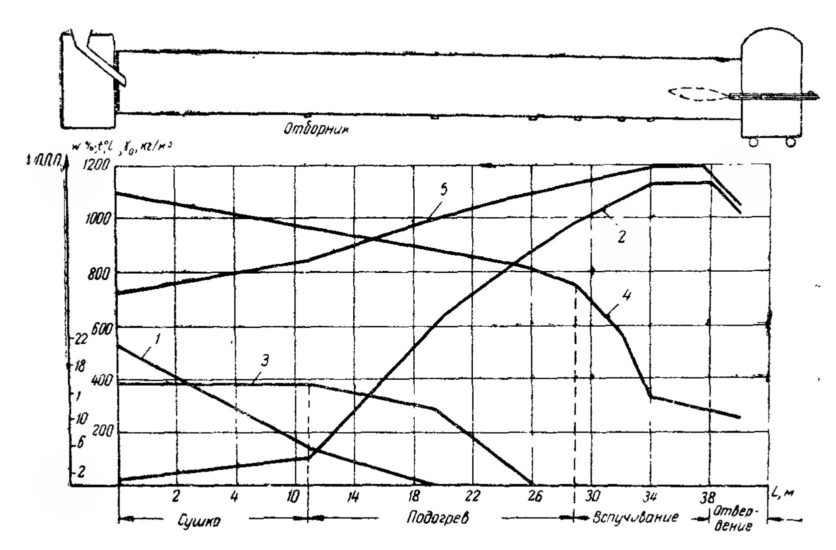


Рис. 123. Совмещенная диаграмма процессов, происходящих во вращающейся печи при обжиге керамзита

совмещенной диаграмме (рис. 123). На этой диаграмме можно выделить четыре технологических зоны: сушки, подогрева, вспучивания и отвердевания. Кривая *1* указывает, что основное количество гигроскопической влаги удаляется на длине 11 *м* при температуре материала до 100° С. Потерь при прокаливании (кривая *3*) в этой зоне не происходит, а объемный вес материала (кривая *4*) понижается медленно, исключительно за счет подсушки гранул. Температура газов (кривая *5*) этой зоны довольно высока — 700—850° С, однако вследствие того что гранулы поступают в печь сырыми, их температура повышается довольно медленно (кривая *2*). Зона подогрева занимает в данном случае 15 *м*. В ней удаляются остатки гигроскопической (связанной) влаги, полностью удаляются потери при прокаливании, а материал подогревается со 100 до 875° С при температуре в печи 850—1100° С. Объемный вес гранул продолжает монотонно понижаться за счет удаления остатков гигроскопической и гидратной влаги и некоторого количества летучих веществ. В зоне вспучивания на коротком участке — 8 *м* происходит почти скачкообразное понижение объемного веса гранул с повышением температуры материала до 1125° С. Затем в этой же зоне на последнем ее участке длиной 4 *м* температуры газов и материала продолжают оставаться стабильными, а объемный вес гранул несколько понижается, поскольку масса их в этой зоне находится в пиропластическом состоянии. Зона отвердевания очень короткая, всего 2 *м*. В ней происходит понижение температуры

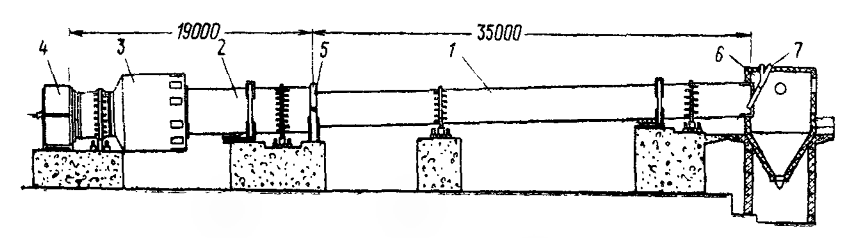


Рис. 124. Двухбарабанная печь

1 — барабан подготовки; *2* — барабан вспучивания; *3* — рекуперативный холодильник; *4* — топочная головка; *5* — уплотнительное устройство; *6* — пыльная камера; *7* — загрузочная течка

материала от конечной (1125° С) до 1025° С и соответственное понижение температуры газов. Иногда в этой зоне понижение температуры газов опережает падение температуры материала.

Для многих глин представляется необходимым замедлить подъем температуры в зоне подогрева и поднимать ее в этой зоне лишь до 400—600° С с тем, чтобы сохранить в материале полностью его газотворную способность для зоны вспучивания. В этом случае кривая температуры материала примет четко выраженный ступенчатый характер. Обжиг по кривой с медленным подъемом температуры в зоне подогрева и быстрым в зоне вспучивания называют иногда ступенчатым (или двухстадийным) обжигом. Для осуществления такого режима нужно располагать возможностью регулировать параметры процесса по длине печи. В известных пределах в однобарабанных печах режим можно обеспечить изменением длины факела за счет конструкций горелок [107, 108, 109], изменением интенсивности загрузки материала в печь, устройством в футеровке подпорных колец [110, 111, 112], оборудованием «холодного» конца печи теплообменными устройствами [113] и применением здесь ребристой футеровки. Однако все эти средства дают возможность регулировать режим обжига в весьма ограниченных пределах.

Гораздо большими возможностями технологического маневрирования обладают двухбарабанные печи (рис. 124). В них длинный барабан малого диаметра предназначен для сушки и подогрева гранул, а короткий барабан большого диаметра — для их вспучивания. Каждый барабан имеет самостоятельный при-

вод, благодаря чему создается возможность раздельно регулировать скорость продвижения материала. Увеличение диаметра барабана вспучивания дает также возможность повысить в нем тепловую мощность и поэтому придать кривой нагрева более четкий ступенчатый характер.

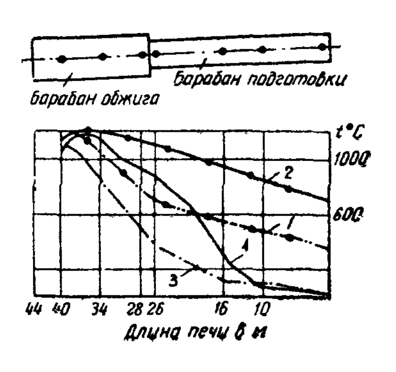


Рис. 125. Изменение температуры газов и керамзитовых гранул по длине печей

1 — температура газов в двухбарабанной печи; *2* — то же, в однобарабанной печи; *3* — температура гранул в двухбарабанной печи; *4* — то же, в однобарабанной печи

Двухбарабанные печи эксплуатируются в нашей стране на нескольких заводах и показали хорошие результаты [114]. Исследования температурных кривых в этих печах подтвердили, что в них действительно достигается ступенчатый температурный режим обжига керамзита (рис. 125).

Весовая производительность вращающихся печей при обжиге керамзита может быть определена по следующей эмпирической формуле [115]:

$$G = 8{,}25\,AL - 825 \text{ кг/ч}, \quad (91)$$

где L — длина печи в *м*; A — эмпирический коэффициент, зависящий от размеров печи.

Величина A для печей различных размеров имеет следующие значения.

Внутренние размеры: печи в *м*	0,96×12	1,3×15	1,9×22	2,1×40
A	13	15,5	21	25

5. Охлаждение керамзита

Во время охлаждения обожженного керамзита в гранулах вследствие малой их теплопроводности возникает значительный температурный перепад, наличие которого влечет за собой появление термических напряжений. Их величина зависит от режима охлаждения. Исследования этого вопроса [116] показали, что от конечной температуры обжига до 800—850° С керамзит можно охлаждать быстро, а в интервале 850—400° С охлаждение должно быть медленным. В действительности пока охлаждают керамзит в холодильниках с нерегулируемым режимом.

Наибольшее распространение для охлаждения получили барабанные холодильники, основным достоинством которых является надежность в работе. Однако присущие им низкие интенсивности теплообмена и, как следствие, громоздкость обусловливают стремление заменить их более компактными холодильниками. С этой целью были опробованы беспровальные цепные механические решетки (БЦРМ), применяемые в механизированных

топках для слоевого сжигания угля. Однако в качестве холодильников к вращающимся керамзитообжигательным печам они оказались неработоспособными — ломались и выходили из строя.

На заводах, построенных в последние годы, применены шахтные холодильники в сочетании с пневмотранспортом керамзита. При этом в самом холодильнике керамзит охлаждают до 400—500° С продувкой холодного воздуха, последующее охлаждение происходит при его пневмотранспорте. Для интенсификации процесса охлаждения в пневмотранспортном тракте применяют туманное охлаждение, подавая в сеть вместе с воздухом распыленную воду. Недостатком такого охлаждения является то, что при пневмотранспорте керамзита частично разрушается оболочка гранул, а часть их оказывается расколотыми.

На некоторых заводах работают самотечные шахтные холодильники, а на Бескудниковском комбинате (Москва) керамзит охлаждают в аэрожелобе.

6. Сортировка и складирование керамзита

Сортируют керамзит по фракциям различных размеров. Для этой цели применяют серийного выпуска гравиемойки, устанавливаемые, как правило, на перекрытии склада готовой продукции. На некоторых заводах сортировочное устройство агрегируется с барабанным холодильником, составляя его выходную часть [114]. Такое решение повышает компактность технологического оборудования, но оно применимо только при барабанных холодильниках.

Склады готовой продукции на вновь строящихся заводах предусматриваются только закрытые, преимущественно силосного типа. Это обусловлено тем, что по ГОСТ отпускная влажность керамзита не должна превышать 2%, а ее можно обеспечить только в закрытых складах.

7. Техника безопасности

Специфическими вредностями в производстве керамзита являются большие тепло- и пылевыделения, а также наличие горячих поверхностей. В целях охраны труда все горячие поверхности оборудования должны быть изолированы. Головку и корпус вращающейся печи следует экранировать, места пылевыделения — оборудовать аспирацией, а производственные помещения — приточно-вытяжной вентиляцией.

§ 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Выпуск керамзита в нашей стране составил в 1965 г. 6 млн. $м^3$, причем его вырабатывали 86 предприятий. Более 64% всего керамзита имеет марку 500 и ниже. Выра-

ботка на 1 работающего составила в среднем 1083 $м^3$ в год, трудоемкость — 1,52 $ч/м^3$, удельный расход условного топлива — 112 $кг/м^3$, а электроэнергии — 22 $квт \cdot ч/м^3$. Средняя себестоимость керамзита равна 6 руб. 68 коп. Статистические данные

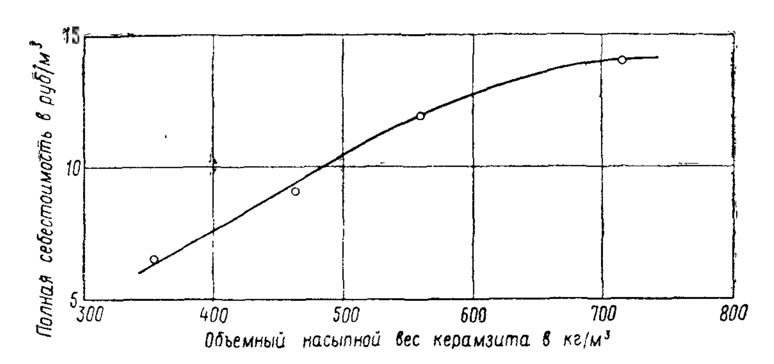


Рис. 126. Зависимость себестоимости керамзита от его насыпного веса

устанавливают достаточно четкую зависимость себестоимости керамзита от его насыпного веса и мощности предприятия (рис. 126).

§ 7. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМЗИТОВОГО ПЕСКА

Эффективность применения керамзитового гравия для легких бетонов в настоящее время ослабляется использованием в качестве мелкозернистого заполнителя кварцевого песка, сильно утяжеляющего бетон и понижающего его теплозащитные свойства. В связи с этим возникла необходимость обеспечения бетонной промышленности легким песком. Одним из видов такого песка является керамзитовый, который можно получать двумя способами: дроблением «козлов» и негабаритных фракций керамзита и обжигом глины в реакторах кипящего слоя.

Дробленый керамзитовый песок согласно МРТУ должен иметь размер зерен не более 5 *мм*; по насыпному весу в $кг/м^3$ он может быть шести марок — от 500 до 1000 с шагом через 100 $кг/м^3$. Рекомендуемый зерновой состав песка регламентируется специальным графиком (рис. 127).

Керамзит дробят на молотковых или валково-зубчатых дробилках с последующим отсевом негабаритной фракции на грохоте.

Гранулы дробленого песка не имеют наружной спекшейся оболочки и потому обладают повышенными водопоглощением и потреблением цементного теста и пониженной прочностью. Кроме того, дробленый песок является относительно дорогим ма-

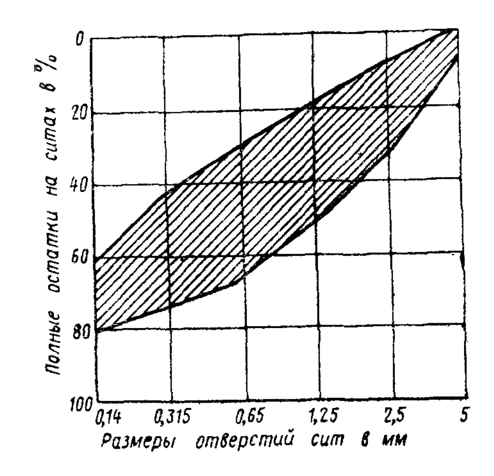


Рис. 127. Рекомендуемый зерновой состав керамзитового песка

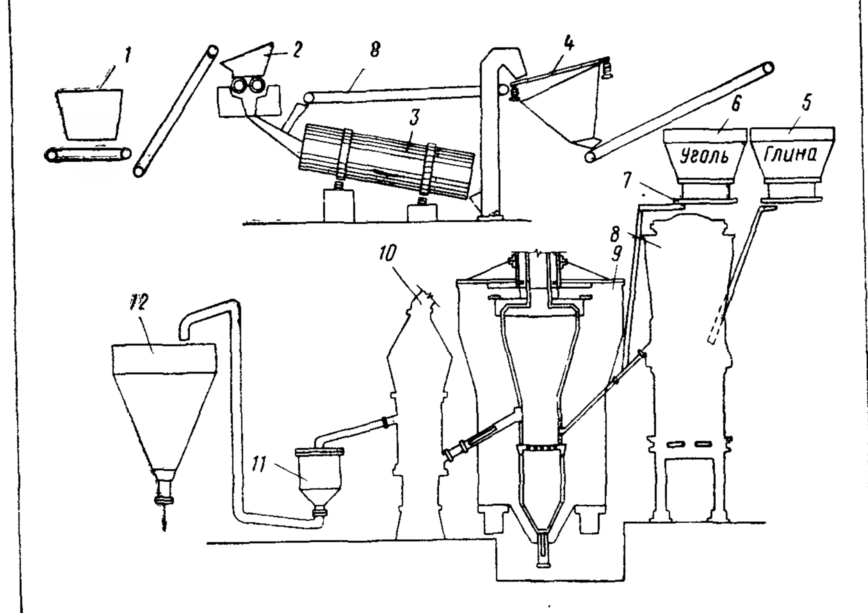


Рис. 128. Схема технологического процесса получения керамзитового песка в печах кипящего слоя

териалом, так как при дроблении 1 $м^3$ керамзитового гравия получается примерно 0,5 $м^3$ песка. Поэтому себестоимость 1 $м^3$ дробленого керамзитового песка превышает 10 руб.

Наиболее качественным является керамзитовый песок, полученный в реакторах кипящего слоя. Его зерна имеют такую же структуру, как и гранулы керамзитового гравия: снаружи они покрыты спекшейся плотной оболочкой, а внутри имеют пористую керамзитовую (ячеистую) структуру. Примерный гранулометрический состав такого песка дан ниже.

Размер отверстий сит в *мм*	5	2,5—5	1,2—2,5	0,6—1,2	0,3—0,6	0,15—0,3	0,1
Содержание фракции в %	1,5	6	14	30,5	25	10	13

Насыпной объемный вес песка 600—700 *кг/м³*, прочность при сдавливании в цилиндре 65—70 *кГ/см²*.

На рис. 128 приведена схема технологического процесса получения керамзитового песка в печах кипящего слоя. Глину подают в ящичный подаватель *1*, из которого она поступает в вальцы грубого помола *2*. Дробленую глину направляют в сушильный барабан *3*, в котором она подсушивается до влажности 7—9% и одновременно измельчается подвешенными в нем цепями. Подсушенную и измельченную глину подвергают просеву на грохоте *4*. «Проход» через сито направляют в расходный бункер *5*, а «отказ» возвращают в сушильный барабан для досушки и домола. Иногда в глину добавляют уголь, который хранится в расходном бункере *6*. Глину и уголь тарельчатыми питателями *7* подают в печь (реактор) термоподготовки *8*. Здесь она подогревается и перетекает в реактор обжига (вспучивания) *9*, в который через нижнюю (подовую) решетку поступают горячие газы из мазутной или газовой топки. Вспученный керамзитовый песок самотеком направляется в холодильник *10*, также работающий по принципу кипящего слоя. Тяга в реакторах обеспечивается воздуходувкой, создающей разрежение в несколько тысяч *мм вод. ст.* Охлажденный песок через пересыпное устройство *11* пневмотранспортом подают в расходный бункер *12*.

Проектная стоимость 1 $м^3$ песка на заводе мощностью 100 тыс. $м^3$ в год составляет около 5 руб.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ АГЛОПОРИТА

Аглопоритом называют искусственный пористый материал, получаемый путем термической обработки силикатных материалов методом агломерации. Под агломерацией понимают спекание в конгломерат сыпучего топливосодержащего материала посредством его слоевого обжига с интенсивным просасыванием или нагнетанием воздуха через слой зажженного материала.

Аглопорит применяется в качестве заполнителя легких бетонов.

При разработке средств придания стойкости склонным к распаду топливным шлакам, используемым в качестве заполнителя для бетона (шлакобетон), был впервые получен аглопорит. В настоящее время такое получение аглопорита утратило свою актуальность в связи с переводом железнодорожного транспорта, который являлся основным источником получения топливных шлаков, на электрическую и дизель-локомотивную тягу, а также вследствие прогрессирующего сокращения слоевого сжигания угля на тепловых электростанциях. Вместе с тем начало развиваться производство аглопорита из глинистого сырья, которое стало основным для изготовления этого материала.

В СССР в 1965 г. было выпущено 360 тыс. $м^3$ аглопорита. В 1970 г. выпуск аглопорита должен превысить 3 млн. $м^3$.

§ 1. СВОЙСТВА АГЛОПОРИТА

По ГОСТ 11991—66 различают два вида аглопоритовых материалов — аглопоритовый щебень и аглопоритовый песок. В зависимости от размера зерен различают три фракции щебня: 5—10, 10—20 и 20—40 *мм*. Зерна песка имеют размер менее 5 *мм*.

Марки аглопоритовых материалов различаются по их насыпному весу (табл. 23).

Таблица 23

Показатели аглопорита

Материал	Марка	Насыпной вес в *кг/м³*	Прочность при сжатии в цилиндре в *кГ/см²*
Аглопоритовый щебень	500	До 500	6
	600	510—600	9
	700	610—700	13
	800	710—800	17
Аглопоритовый песок	800	До 800	—
	1000	810—1000	—

Потери в весе не должны превышать: при прокаливании 3, при определении стойкости щебня против силикатного распада 8 и против железистого распада 5, при испытании на стойкость в растворе сернистого натрия 5 и при испытании на морозостойкость после 15 теплосмен 10%.

§ 2. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ

Рассмотрим по отдельным этапам процессы, происходящие в слое топливосодержащей зажженной шихты при прососе через нее воздуха.

На I этапе (рис. 129) за счет тепла, сообщаемого зажигательным импульсом в верхней части слоя, испаряется гигроскопическая влага. Дымовые газы вместе с водяными парами просасываются через слои шихты и покидают его. На этом этапе нижняя часть слоя при большой его толщине может даже увлажняться за счет конденсации водяных паров из отработанных газов. В зоне подсушки температура не превышает 100° С.

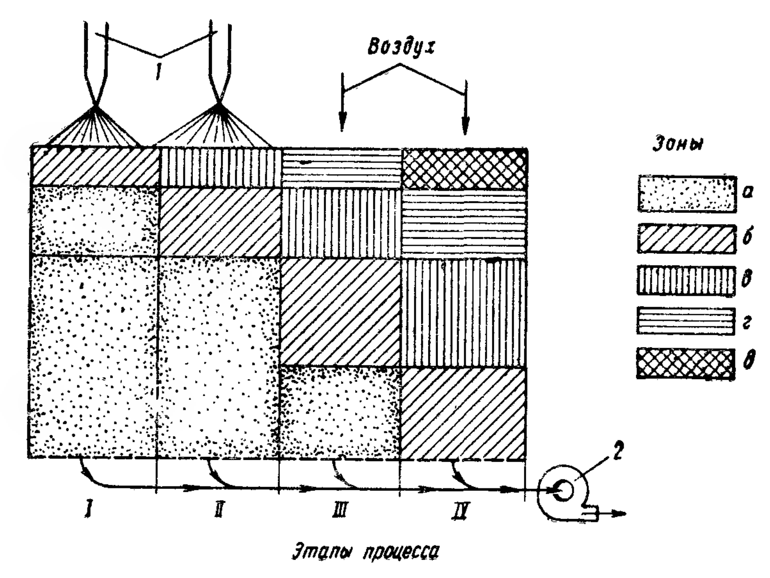


Рис. 129. Динамика процесса агломерации

1 — зажигательное устройство; *2* — дымосос. Зоны: *а* — шихты; *б* — сушки; *в* — подогрева; *г* — горения топлива; *д* — остывания

При дальнейшем поступлении тепла от источника зажигания верхний слой, будучи уже сухим, подогревается (II этап), а смежный с ним нижележащий слой подсушивается. Диапазон температур для этого этапа может составлять в зависимости от вида топлива от 100—600 до 100—800° С. На этом этапе одновременно с чисто физическим подогревом материала происходит дегидратация глинистых минералов и гидроокислов железа с кристаллизацией гематита.

Когда верхний слой подогревается до температуры воспламенения находящегося в нем топлива, оно начинает гореть (III этап), взаимодействуя с воздухом, непрерывно просасываемым через слой материала. Проходя через слой прогретого или охлаждающегося материала, воздух нагревается и таким образом в зону горения поступает подогретым, что способствует развитию в этой зоне высоких температур и быстрому протеканию процессов горения. В результате в слое могут развиваться высокие температуры, вплоть до 1600° С. На этом этапе в материале происходят процессы, наиболее важные для формирования структуры аглопорита. Железистые окислы восстанавливаются до закисного состояния и способствуют интенсивному образованию жидкой фазы. Происходит спекание внутри отдельных гранул и контактное спекание самих зерен. В результате сыпучий слой превращается в спекшийся, но пористый конгломерат. Глинистые и слюдистые минералы, содержащиеся в шихте, частично вспучиваются, обусловливая образование в материале небольшой доли закрытых пор.

Когда закончится выгорание всех органических веществ, наступает последний (IV) этап — охлаждение спекшегося конгломерата («пирога»). В этот период наряду с физическим охлаждением материала в нем завершаются процессы кристаллизации гематита и магнетита, а также α-кристобалита. Оплавленные зерна кварца, сохранившиеся в виде α-кварца, переходят при 575° С в β-кварц. В полностью остывшем аглопорите содержится 48—50% стекла. Кристаллическими фазами являются кварц, кристобалит, в небольшом количестве муллит, гематит и некоторые другие минералы.

Изложенную периодизацию общего процесса образования аглопорита следует рассматривать как самое схематическое приближение. В действительности четкой последовательности в протекании отдельных процессов, а также в температурных границах между ними не существует. Отдельные процессы накладываются друг на друга и в большинстве своем смещаются в область более высоких температур.

Пористость в аглопорите образуется за счет четырех факторов: превращения межзерновых пустот в поры при контактном спекании гранул материала (основной фактор), удаления гигроскопической влаги, выгорания органических веществ и вспучивания глины. Последний фактор, который для керамзита играет основную роль, в производстве аглопорита имеет второстепенное значение.

Пористость в аглопорите преобладает открытая, поскольку само образование аглопорита возможно только при непрерывном просасывании воздуха через слой обжигаемого материала.

§ 3. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для производства аглопорита (глинистого) используются глинистые породы и добавки. Из тощих глинистых пород, содержащих 7—10% Al_2O_3, можно получать только тяжелый аглопорит марок 500—700, из глин, содержащих 10—14% Al_2O_3 с числом пластичности 14—17,— легкий аглопорит с насыпным весом 350—500 *кг/м³*. Высоковспучивающиеся глины для производства аглопорита непригодны, так как при их вспучивании заплывают межзерновые пустоты, прекращается поступле-

ние через них воздуха в зону горения и она начинает затухать — происходит «срыв горения». В качестве глинистых пород могут использоваться также углесодержащие шахтные породы, являющиеся отходами при добыче угля, а также глинистые сланцы.

Как добавки при производстве аглопорита используются антрациты и бурые угли. При применении бурых углей вместо тощих производительность агломерационных машин увеличивается в 1,5 раза. Уголь добавляется в количестве 10—15% от веса сухой глины [117].

В шихту аглопорита добавляют до 20% возврата — мелких фракций недожженного аглопорита. Он образуется при дроблении спекшегося конгломерата, а также в результате провала материала через решетку. В количестве 2—3% добавляют древесные опилки, которые, выгорая при относительно низких температурах, способствуют более раннему зажиганию шихты и увеличивают ее газопроницаемость.

По новейшим исследованиям [117], процесс агломерации интенсифицируется при добавке (до 20%) гашеной извести. Ее взаимодействие при высоких температурах с углеродом сопровождается выделением окиси углерода и водорода, которые, создавая восстановительную среду в обжигаемом слое, интенсифицируют процесс спекания.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ АГЛОПОРИТА

Основными операциями технологического процесса изготовления аглопорита являются: подготовка добавок, подготовка шихты [в том числе дробление основного сырья, дозировка компонентов и их перемешивание, формование гранул (грануляция шихты)], спекание шихты и охлаждение спекшегося конгломерата, дробление «коржа», сортировка и складирование аглопорита.

1. Подготовка шихты

Уголь дробят и отсеивают до предельной величины зерен 3 *мм*. Оптимальный зерновой состав угля: фракция 2—3 *мм* — 80 и менее 2 *мм* — 20%. Топливосодержащие породы также дробят и отсеивают для получения зерен с предельной величиной 5 *мм*. Величина зерен возврата и опилок не должна превышать 10 *мм*. Известь вводят в виде известкового молока при приготовлении из глины пластичного теста.

Способы приготовления гранул зависят от структурных особенностей исходных материалов. По этому признаку в производстве аглопорита различают три группы материалов [118].

Сухие плотные материалы. К ним относятся глинистые и угленосные сланцы.

Рыхлые горные породы, естественно влажные. Сюда можно отнести наиболее распространенное глинистое сырье — глины, суглинки и супеси.

Сухие пылевидные материалы. Они представлены практически только золами электростанций*.

Основным технологическим требованием при подготовке гранул является обеспечение необходимой газопроницаемости массы и достаточно равномерного распределения всех компонентов шихты. Газопроницаемость регулируется подбором гранулометрического состава шихты в зависимости от пластичности глины. Оптимальные составы приведены в табл. 24 [119].

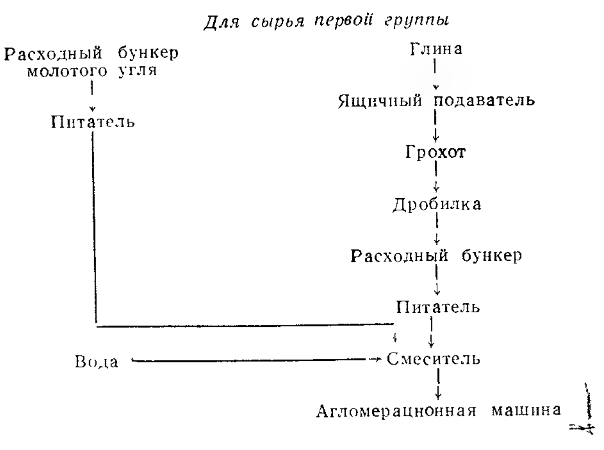
Таблица 24

Оптимальные зерновые составы (в %) и объемные веса глинистых шихт для производства аглопорита

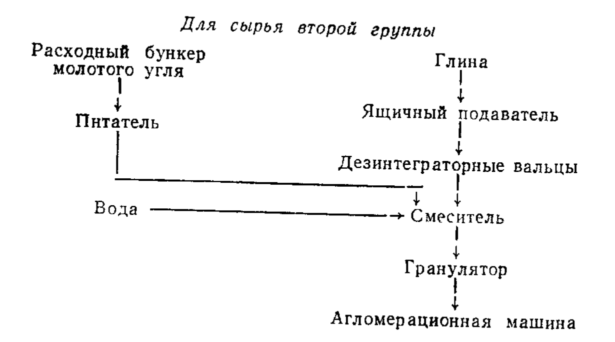
Виды глинистых пород	Размер зерен в *мм*			Насыпной вес шихты в *кг/м*³
	7—10	3—7	0—3	
Малопластичные	20	40	40	980—1070
Умереннопластичные	20	60	20	970—1050
Среднепластичные	—	70	30	940—1030

Влажность шихты должна быть достаточной для образования слитных гранул и в то же время не должна быть чрезмерной, чтобы шихта не слипалась в сплошную газонепроницаемую массу. Примерные диапазоны влажности составляют: для сырья первой группы 8—14% и для сырья второй группы 16—23%.

Схемы технологического процесса подготовки шихты могут быть такими.



* Золы не являются керамическим сырьем, в связи с чем технология изготовления из них аглопорита в данном учебнике не рассматривается.



В качестве смесителей шихты применяют двухвальные глиномешалки и шихтосмесители с уплотняющей головкой. Длительность перемешивания 4—6 *мин* для сырья первой группы и 5—6 *мин* для сырья второй группы.

Очень ответственной машиной в технологии аглопорита являются грануляторы. По технологическим признакам их можно разделить на три типа:

окатывающие — лотковые, тарельчатые и барабанные;

разрыхляющие — роторные;

формующие — ленточные прессы, глинорастиратели, дырчатые вальцы, брикетные прессы, бегуны.

Для глинистого сырья наилучшие результаты показали барабанные и роторные грануляторы.

2. Спекание шихты и охлаждение аглопорита

Спекание шихты и охлаждение аглопорита производят в установках периодического и непрерывного действия. К установкам периодического действия относят чаши, которые могут быть поворотными и переносными, а к установкам непрерывного действия — ленточные и карусельные агломерационные машины.

При использовании поворотных чаш шихту в них загружают передвижным шихтораздатчиком, зажигают ее передвижной зажигательной камерой, которая может быть в одном агрегате с шихтораздатчиком, а выгружают обожженный аглопорит поворотом чаши при помощи гидропривода. Такие чаши стационарно подключены к дымовому каналу. Площадь их решетки может быть 1—3 $м^2$, а рабочий объем от 0,33 до 0,7 $м^3$. Толщина слоя шихты составляет от 150 до 300 *мм* в зависимости от вида шихты. Длительность теплового цикла 10—12 *мин.* Переносные чаши загружаются шихтой у поста ее подготовки, затем чаши транспортируются к дымовому каналу, подключаются к нему и шихта зажигается. После окончания процесса спекания чаша транспортируется для разгрузки в дробильное отделение. Чаши периодического действия целесообразно применять на предприя-

тиях малой мощности производительностью до 15—20 тыс. $м^3$ в год.

Наиболее совершенным и высокопроизводительным агрегатом для обжига аглопорита является ленточная агломерационная машина. Она представляет собой вертикально-замкнутый конвейер, состоящий из отдельных тележек — чаш, называемых палетами. Схема рабочего процесса ленточной агломерационной машины приведена на рис. 130.

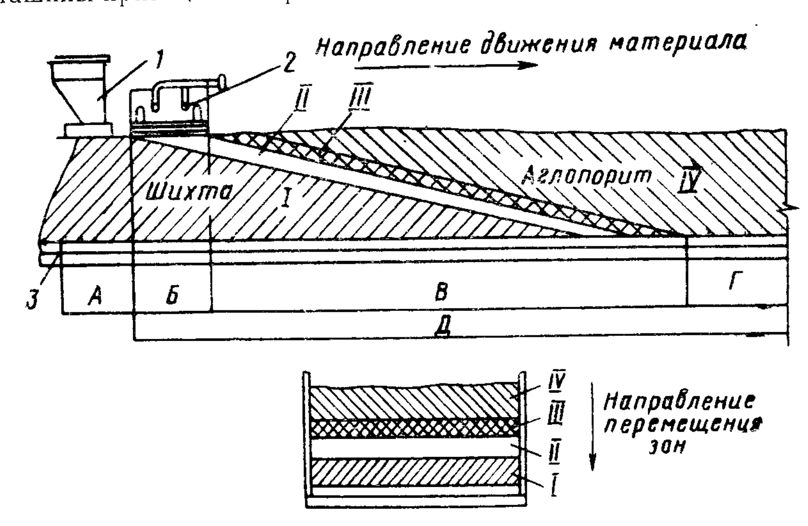


Рис. 130. Схема рабочего процесса ленточной агломерационной машины

1 — загрузочный бункер; *2* — зажигательный горн; *3* — рабочая ветвь агломерационной машины. Технологические зоны: *I* — испарения влаги; *II* — подогрева шихты; *III* — спекания шихты; *IV* — охлаждения аглопорита. Участки агломерационной ленты: *А* — загрузки; *Б* — зажигания; *В* — спекания; *Г* — охлаждения; *Д* — прососа воздуха

В зависимости от вида сырья температура зажигания шихты составляет 800—1200° С, а продолжительность 0,5—3 *мин.* Разряжение в период зажигания шихты 100—250, а в период спекания — 200—500 *мм вод. ст.* Расход воздуха на 1 $м^2$ площади спекания 0,5—1,1 $м^3/м^2 \cdot ч$. Условная производительность 0,15—0,85 $м^3/м^2 \cdot ч$.

Производительность агломерационных ленточных машин (по насыпному объему) может быть определена по формуле

$$П_{а.н} = F_{а.м} Q \quad м^3/ч, \qquad (92)$$

где Q — условная (удельная) производительность в $м^3/м^2 \cdot ч$. Величина Q определяется по результатам испытаний данного вида сырья, а для ориентировочных подсчетов может приниматься по справочным данным [120]; $F_{а.м}$ — рабочая площадь агломерационной машины в $м^2$.

Карусельные агломерационные машины оказались конструктивно более сложными и менее производительными, чем ленточные, и в настоящее время не применяются.

Охлаждение аглопорита в первых аглопоритовых предприятиях выделялось в самостоятельный технологический узел. Впоследствии от этого отказались и в современных предприятиях аглопорит охлаждают на последнем участке агломерационной машины просасыванием холодного воздуха и орошением распыленной водой. Однако при таком способе охлаждение получается неравномерным, а насыщение водяными парами отработанного воздуха создает трудности в работе вентиляционной системы.

3. Дробление, сортировка и складирование аглопорита

Первичное дробление «коржа» производится роторной дробилкой СМ-962, вторичное — на щековых или валково-зубчатых дробилках. Сортируют и складируют аглопорит, так же как и керамзит, с применением серийного оборудования.

4. Техника безопасности

Специфическими источниками травматизма и профессиональных заболеваний в производстве аглопорита являются пылевыделение в узлах помола и просева добавок и в узлах дробления, сортировки и транспортирования аглопорита. Все пылящие места должны быть надежно герметизированы и оборудованы аспирационными отсосами.

Горячие поверхности зажигательных горнов должны иметь тепловую изоляцию. Дымососы, создающие шум, надо устанавливать за пределами производственных помещений.

§ 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Технико-экономические показатели действующих аглопоритовых предприятий таковы [121]:

удельные капитальные затраты	4—5 *руб/м³*
себестоимость:	
средняя	6 руб. 44 коп.
на лучших предприятиях	4 руб. 32 коп.
выработка на 1 рабочего в год	1200—1500 *м³*
расход глины	0,55—0,6 *м³/м³*
расход условного топлива	100—150 *кг/м³*
в том числе на зажигание	9—10 *кг/м³*
расход электроэнергии	33—46 *квтч/м³*

Анализ себестоимости показывает, что при увеличении мощности предприятий до 100—200 тыс. $м^3$ в год себестоимость может быть снижена до 3—4 руб.

Глава восемнадцатая

ТЕХНОЛОГИЯ ЧЕРЕПИЦЫ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глиняной черепицей называют керамические изделия, предназначенные для покрытия кровли по деревянной обрешетке.

Черепица издавна зарекомендовала себя как долговечный кровельный материал. Однако ей присущи и существенные недостатки. Она является относительно тяжелым кровельным материалом и требует больших уклонов кровли, что удорожает стропильные конструкции. Кроме того, она является маломерным материалом ручного монтажа, что обусловливает большую трудоемкость возведения черепичной кровли. В силу этих недостатков производство черепицы в последние годы не развивается, и в малоэтажном поселковом и сельском строительстве, где она раньше широко применялась, она уступает свое место листам волнистого асбестоцемента. Тем не менее черепицу продолжают вырабатывать сотни предприятий, и ежегодный выпуск ее составляет около 100 млн. шт.

Согласно ГОСТ 1808—54 различают несколько типов черепицы: пазовую штампованную, пазовую ленточную, плоскую ленточную и коньковую. Характеристика черепицы приведена в табл. 25.

Таблица 25

Основные типы черепицы

Тип черепицы	Размер в *мм*	Вес обожженной черепицы в *кг*	Количество черепицы, потребной на 1 *м²* кровли
Пазовая штампованная	310×190	~2,7	15
Пазовая ленточная	333×200	2,3	16
Плоская »	160×155	0,7	55
Коньковая	333×200	2,8	—

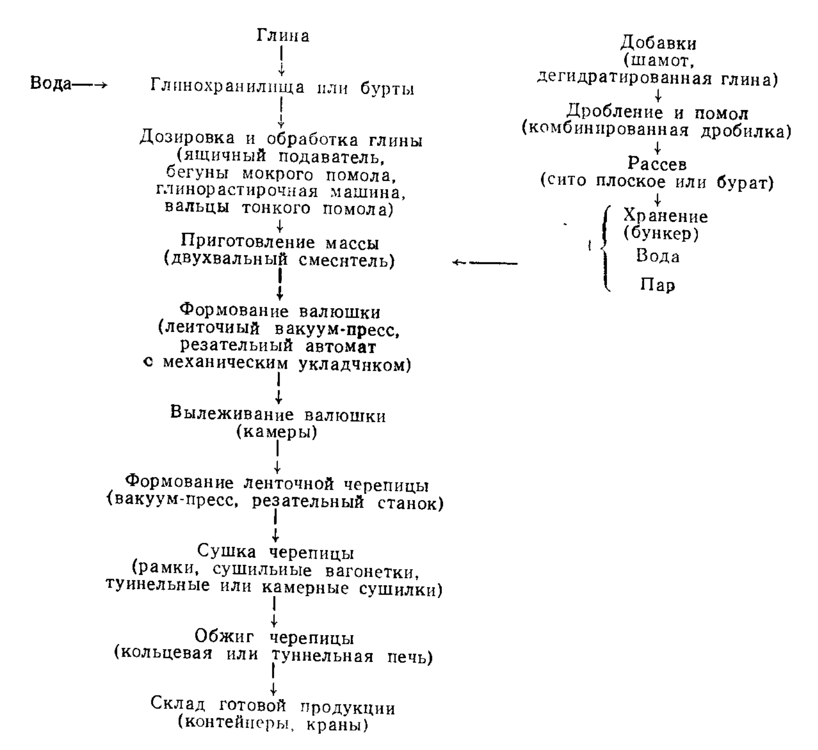
Черепица должна удовлетворять следующим требованиям: предел прочности на излом в сухом состоянии не меньше 70 *кГ/см²*; вес 1 *м²* кровли не более 45 *кг* (при насыщении водой 50 *кг* и выше); полностью насыщенная водой черепица должна выдерживать не менее 15 циклов замораживания при температуре —25° С и последующего оттаивания; водопоглощение не должно превышать 10% веса сухой черепицы.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Глины, применяемые для производства черепицы, не должны содержать включений гальки и известняка крупнее 0,5—1 *мм*; должны обладать достаточной пластичностью (обеспечивающей хорошую формуемость массы при введении отощителей не более 20%) и малой чувствительностью к сушке, а также должны спекаться без короблений.

При использовании высокопластичного сырья в массу вводят отощители (шамот, песок или дегидратированную глину), в случае же применения малопластичного сырья добавляют пластичную глину. Состав массы подбирается опытным путем, при этом величина воздушной усадки не должна превышать 7, а огневой 4%.

Типичная схема технологического процесса для предприятий круглогодового действия такова.



Для формования черепицы предварительно на ленточном прессе заготавливают валюшки (пласты). Оптимальный их размер в каждом отдельном случае должен устанавливаться непосредственно на заводе в зависимости от свойств сырья. Ориентировочно для фальцевой черепицы можно рекомендовать следующие размеры пластов: длина 350—380, ширина 150—180 и толщина 40—50 *мм*. Валюшки вылеживаются в специальных камерах в течение 3—5 суток для выравнивания влажности и релаксации напряжений, после чего направляются на формование.

Пазовая штампованная черепица формуется в металлических (чугунных, стальных, бронзовых) или гипсовых формах на салазочных и револьверных штамповочных прессах.

При использовании гипсовых форм черепица получается высокого качества, но отливка гипсовых форм и формование черепицы в них связаны с рядом технологических трудностей, поэтому гипсовые формы применяются сравнительно редко. Расход их значителен — 13 форм на 1000 шт. черепицы. Обычно гипсовые формы изготовляют непосредственно на черепичных заводах из гипса высокого качества. Для приготовления одной формы стандартного размера требуется около 2,5 *кг* гипса. Для приготовления раствора гипс и воду берут в отношении 1 : 1. Хранить гипс необходимо в сухом месте.

При формовании фальцевой черепицы в металлических формах необходимо следить за тем, чтобы формы были тщательно отшлифованы и чистые (не заржавлены). Чтобы черепица не прилипала к металлическим формам, их смазывают керосином с добавкой 25—30% стеарина либо смазкой, содержащей 120—150 *кг* вазелиновых или жировых отходов на 5 *кг* подогретого керосина. Расход смазки на 1000 изделий составляет в среднем 4—5 *кг*; наносят ее на формы тканью или мягкой кистью.

Специфическими случаями травматизма в производстве черепицы являются ранения рук прессовщиков штамповочных прессов. Во избежание этого прессы должны быть снабжены предохранительными приспособлениями, а рабочие должны быть обучены правилам безопасной работы.

Для формования ленточной плоской, а также коньковой черепицы применяют преимущественно ленточные вакуум-прессы, на которых устанавливают неорошаемые мундштуки длиной не более 50 *мм*. Вакуумирование массы улучшает качество сырца и устраняет необходимость вылеживания.

Выходящую из мундштука ленту режут на резательном станке-полуавтомате. Сформованную черепицу укладывают на рамки, обрезают заусенцы, оправляют и отбраковывают.

Затем сырец направляют на сушку в сушильные сараи или в сушилки. В сушильных сараях стеллажного типа черепица может сохнуть от 7 до 12 суток. Количество влаги, удаляемой из черепицы, колеблется в пределах 16—22% веса самой черепицы (300—500 *г* на 1 шт. в зависимости от свойств глины). При естественной сушке черепица высыхает обычно до влажности 5—7%.

В сушильных сараях, чтобы избежать трещин вследствие резкого изменения температуры и наличия ветра, сырец прикрыва-

ют щитами или рогожами. На черепичных заводах средней и большой мощности черепицу сушат в камерных и туннельных сушилках того же типа, что и для кирпича. Срок сушки черепицы в искусственной сушилке — 36 *ч* и меньше.

После сушки и тщательной сортировки черепица поступает в обжиг. Ее можно обжигать в тех же печах, что и строительный кирпич при температуре 900—950° С. Общая продолжительность обжига в периодических печах, включая садку и выгрузку, составляет 5—10 суток в зависимости от размеров горна. В туннельных печах обжиг протекает значительно быстрее — в течение 48—50 *ч*. В кольцевой печи черепицу обжигают обычно вместе с кирпичом. Плотность садки 270 шт. черепицы, а при комбинированном обжиге — 130 шт. черепицы и 105 шт. кирпича на 1 $м^3$ обжигательного канала.

§ 3. ПОРОКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРЕПИЦЫ

При формовании черепицы на салазочном и револьверном прессах возможны отклонения от заданных размеров и недопрессовка.

Размеры валюшки должны соответствовать размерам черепицы. При слишком длинной и широкой валюшке увеличивается количество обрезков: недостаточная ширина или длина валюшки, даже при большой толщине, не обеспечивает образования фальцев, лапок и шипов; изделия получаются недопрессованными, неплотными, с надорванными краями. Черепица, изготовленная из короткой и узкой валюшки, имеет неоднородную плотность, что приводит к браку при сушке.

В случае дополнения неполных пластов кусками (обрезками) массы не достигается плотное соединение их с остальной массой, что является причиной брака в сушке (трещины по плоскостям спайки).

В валюшках с заметными для глаза включениями посторонних тел возникают дополнительные напряжения, могущие вызвать в сушке трещины или искривления.

При неправильной центровке осей форм пресса получается так называемая «косая черепица» со сдвинутой верхней или нижней стороной. В местах сгиба толщина черепицы меньше, вследствие чего возникают трещины при сушке. Для предотвращения этого порока необходимо проверять поперечное сечение черепицы после каждой смены форм, а также периодически контролировать состояние форм пресса.

Деформация черепицы может наступить вследствие излишне сильного прижима рамки к черепице во время съема ее с пресса или неправильного укладывания на рамку, когда планки рамки не совпадают с выступающими частями черепицы. Значительное количество брака возникает при неправильном транспортировании сырой черепицы в сушилку.

Другой серьезной причиной брака является неправильное изготовление рамок и нерациональная укладка на них сырца. Брак в сушильной камере возникает вследствие неравномерного удаления влаги из отдельных частей изделий, что вызывает различную воздушную усадку. Черепица имеет большое число выступающих ребер, шипов, фальцев, особенно чувствительных к ускоренной сушке по сравнению с основной массой изделия. Поэтому при неправильном режиме сушки получается большое количество брака. Трещины на черепице чаще всего возникают при слишком быстрой сушке. Края черепицы сохнут быстрее, внутренняя часть — медленнее. Трещины в сушке появляются также в результате плохой обработки глины: при наличии в отформованной черепице небольших комочков сухой глины вокруг них образуются трещинки во всех направлениях.

Недостаточная связность массы после сушки (малый предел прочности при разрыве) также может быть причиной возникновения трещин в сушке. Изделия из малопластичных глин с большим количеством мелких частиц отощителя не выдерживают напряжений, которые создаются в теле сырца при сушке, и растрескиваются. В этом случае вместо отощителей в массу надо добавить пластичные глины.

Различие в усадке, вызывая внутренние напряжения, приводит к искривлениям и трещиноватости. Чтобы предупредить такие дефекты, черепицу ставят теснее или в наклонном положении.

В черепице сложного профиля коробление и трещины чаще всего образуются около выступающих частей вследствие большой разницы в количестве воды, испаряющейся из смежных участков черепка. Выступающие части изделий полезно защищать от интенсивного испарения, покрывая их минеральным маслом или керосином.

Недожог является следствием недостаточной температуры обжига. Черепица при этом имеет бледный цвет, пониженные прочность и морозоустойчивость, а при ударе металлическим молоточком издает глухой звук. Пережог получается при слишком высокой температуре обжига. Такая черепица имеет остеклованную и частично деформированную поверхность. Трещины на поверхности появляются в результате запаривания изделий, а также резкого их охлаждения.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Использование для целей сельского хозяйства переувлажненных и заболоченных земель требует устройства дренажа — системы водоотводных сетей, понижающих уровень

грунтовых вод. Закрытый дренаж выполняют укладкой в землю труб, по которым вода из почвы отводится в места сброса. Наибольшее распространение для этой цели получили керамические дренажные трубы. Их выпуск должен возрасти со 110 тыс. *км* в 1965 г. до 443 тыс. *км* в 1970 г. [122].

§ 1. ВИДЫ И СВОЙСТВА ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Различные виды дренажных труб приведены на рис. 131. ГОСТ 8411—62 предусмотрен выпуск только круглых труб. Однако практикующийся выпуск труб с опорной плоскостью и щелевыми отверстиями не рассматривается как нарушение ГОСТ. Фасетчатые трубы предложены, но пока не изготовляются, а трубы с выступающими ребрами изготовляются за рубежом.

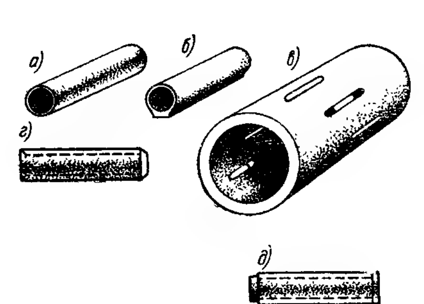


Рис. 131. Дренажные трубы

а — круглая; *б* — с продольной опорной плоскостью; *в* — со щелевыми отверстиями для приема воды; *г* — фасетчатые; *д* — с выступающими ребрами

ГОСТ 8411—62 предусматривает выпуск 10 типоразмеров труб. Внутренний диаметр их может быть от 25 до 250 *мм*, а длина 333 *мм*. Трубы диаметром 125—250 *мм* могут изготавливаться длиной 500 *мм*. По мере возрастания внутреннего диаметра нормируемая толщина стенки трубы возрастает от 8 до 24 *мм*.

Трубы должны иметь правильную цилиндрическую форму и торцы, обрезанные под прямым углом, гладкую внутреннюю поверхность, черепок с водопоглощением менее 18%, обладать достаточной механической прочностью, стойкостью против истирающих воздействий и по отношению к агрессивным грунтовым водам, а также морозостойкостью.

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основным сырьем для изготовления керамических дренажных труб являются легкоплавкие умеренно-пластичные глины, которые вообще характерны для производства тонкостенных керамических изделий (см. рис. 2 и 3). Воздушная усадка их должна быть не более 7—8%, а огневая — не более 1—2%. Примеси каменистых включений и известняка нежелательны

В качестве добавок для отощения глины применяют шамот, дегидратированную глину и кварцевый песок. Последний наименее желателен, так как понижает прочность труб и повышает опасность «холодного треска» при охлаждении обожженных

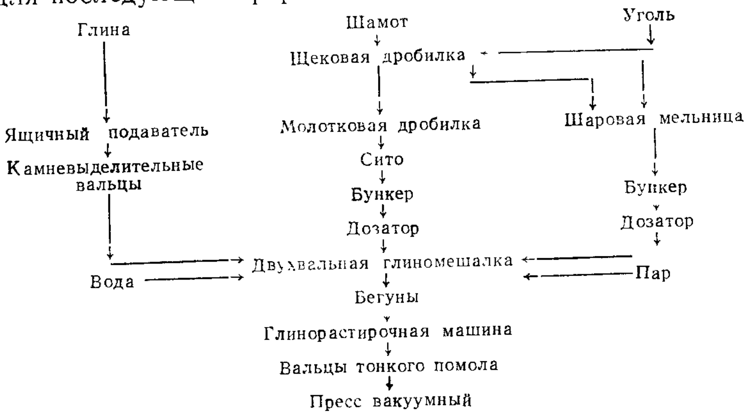
труб. При необходимости улучшить формовочные (а иногда сушильные) свойства массы добавляют глину повышенной пластичности. В качестве добавки, повышающей спекаемость и механическую прочность труб, применяют тощий уголь.

С увеличением диаметра труб требуется применение более пластичных глин с добавкой в них шамота.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

1. Подготовка массы

Глиняную массу для дренажных труб обрабатывают так же, как и массу для других тонкостенных изделий пластического формования — керамических камней и черепицы. Этим объясняется то, что производство дренажных труб было быстро освоено на заводах, ранее вырабатывавших указанные изделия. Наиболее общая схема подготовки керамической массы для последующего формования дренажных труб такова [123].



Подготовленная для формования масса должна обладать хорошими формовочными и сушильными свойствами и, кроме того, определенной жесткостью, предотвращающей деформацию сформованных труб.

Желательно применять глину после предварительного вылеживания. Шамот после помола и просева должен примерно содержать: фракции 0,3—1 *мм* — 50—55% и фракции 1—1,5 *мм* — 45—50%. Зерна больших размеров придают массе излишнюю жесткость, вызывают разрывы стенок труб, портят плоскость среза и являются причиной частых обрывов резательной проволоки. Пылевидную фракцию (менее 0,3 *мм*) надо удалять, так как она ухудшает формовочные и сушильные свойства массы.

Бегуны и глинорастирочная машина являются обязательными машинами для обработки массы, некоторые заводы освоили производство труб только после установки глинорастирочных

машин. Иногда заводы практикуют вылеживание валюшки и предварительную обработку глины на ленточных прессах. При использовании песка вместо шамота или совместно с ним он должен отсеиваться от включений. Добавку пластичной глины дозируют в ящичный подаватель.

2. Формование труб

Дренажные трубы формуют из масс с влажностью 17—18% на ленточных вакуумных прессах с высоким вакуумом — 680—720 *мм рт. ст.* Для обеспечения устойчивого вакуума к прессу подключают параллельно два вакуум-насоса с поочередной их работой. Отсутствие устойчивого вакуума порождает расслоение стенок труб в сушке и последующее их разрушение.

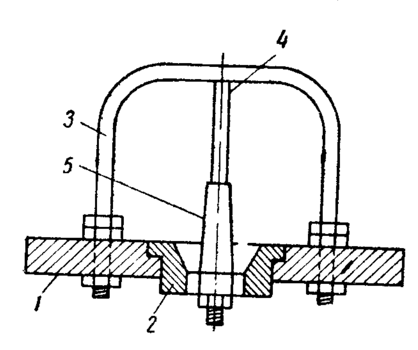


Рис. 132. Мундштук для формования дренажных труб

1 — мундштучная плита; *2* — формующая насадка; *3* — скоба; *4* — кернодержатель; *5* — керн

Мундштуки для формования труб (рис. 132) обычно не имеют орошения. Формующую насадку делают толщиной 60 *мм* и иногда облицовывают изнутри латунью толщиной 1,5—2 *мм*. Во избежание задиров формуемой трубы керны не должны выступать из плоскости насадки. Их надо строго центрировать, что устраняет разнотолщинность труб, вызывающую искривление их в сушке.

На прессах с диаметром корпуса 450 *мм* формуют одновременно по нескольку труб: от 4—5 труб диаметром 40 *мм* и до 1—2 труб диаметром 100 *мм*. Различают два основных способа многоручьевого формования труб: раздельный и пакетный. При раздельном способе из мундштука выходит одновременно в одной горизонтальной плоскости несколько ручьев труб, не связанных друг с другом. Так как поле скоростей движения труб в сечении мундштука распределяется примерно по параболе, то средние ручьи опережают в своем движении периферийные, что вызывает необходимость применения особых приемов резки для получения труб одинаковой длины. При «ограничительной» резке резательный автомат оборудуется двумя или тремя струнами, которые одновременно из всех ручьев вырезают трубы одинаковой длины. Получающиеся при этом обрезки возвращаются в пресс. Другой прием резки при раздельном формовании труб заключается в том, что резательный автомат имеет отдельные резательные столы по числу ручьев и каждый ручей режется отдельно синхронно со скоростью его движения. В этом случае

трубы отбирают в нескольких точках и в разные стороны, что облегчает выполнение этой операции. По этому принципу на заводах Латвийской ССР работает аппарат Х. А. Рейнсона. Некоторые заводы при раздельном формовании труб производят безотходную ограничительную резку, выравнивая скорость движения отдельных ручьев посредством установки тормозов в мундштуке пресса. Последние вызывают, однако, неравноплотность труб и повышенный брак их в сушке и обжиге.

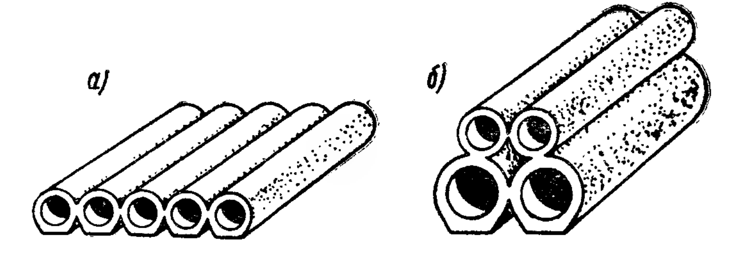


Рис. 133. Пакеты сформованных труб

а — однослойный; *б* — двухслойный

При пакетном способе формования ручьи труб, выходящие из мундштука, соединены между собой перегородками («спайками») с надрезами, по которым трубы после сушки и обжига пакета разъединяются при легком ударе. Трубы могут формоваться однослойным и двухслойным пакетами (рис. 133).

Пакетное формование труб значительно упрощает механизацию процессов их последующей укладки и транспортирования для сушки и обжига, но требует более высоких пластических свойств формуемой массы.

Часовая производительность ленточных прессов колеблется от 3000 труб диаметром 200 *мм* до 20 000 труб диаметром 40 *мм*.

3. Сушка труб

Специализированных конструкций искусственных сушилок для сушки дренажных труб не существует: их сушат в туннельных и камерных сушилках тех же типов, что и для кирпича, а иногда и вместе с кирпичом. Туннельные сушилки должны иметь рециркуляцию. На вагонетки туннельных сушилок трубы мелких диаметров укладываются горизонтально (рис. 134, *а*), а крупных диаметров устанавливаются вертикально (рис. 134, *б*). Срок сушки в туннельных сушилках труб малого диаметра колеблется в пределах 10—24 *ч*, а крупного диаметра — 20—36 *ч*. В среднем для одной и той же глины сроки сушки труб малого диаметра в 1,5—2 раза меньше, чем полно-

телого кирпича, а для труб крупного диаметра примерно одинаковы. Начальная температура теплоносителя составляет 30—50° С, уменьшаясь с увеличением диаметра труб; относительная влажность его 30—40%; температура отработанного теплоносителя 20—30° С, а его относительная влажность 85—90%. В камерных сушилках срок сушки составляет 80—100 *ч*. Трубы сушат до остаточной влажности 6—8%.

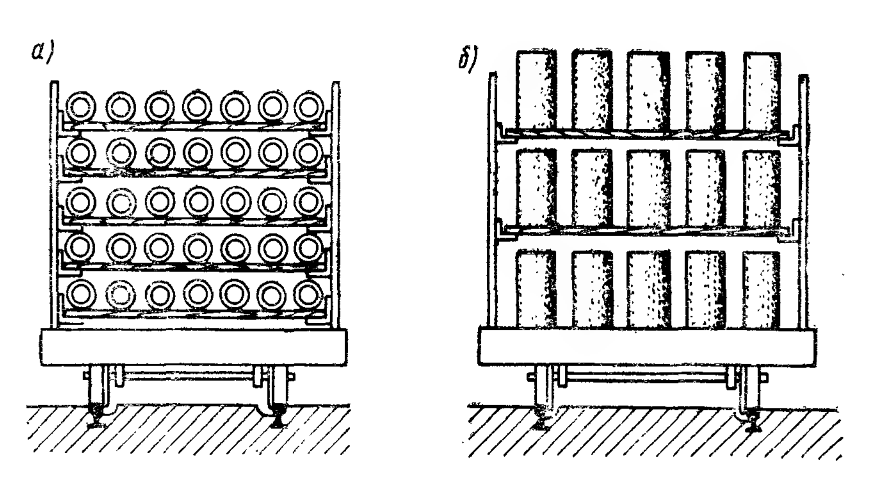


Рис. 134. Садка дренажных труб на сушильную вагонетку

а — мелкого диаметра; *б* — крупного диаметра

После сушки торцы труб зачищают от заусенцев и вмятин, с тем чтобы движение жидкости внутри труб не испытывало сопротивлений в их стыках.

4. Обжиг труб

Дренажные трубы обжигают в кольцевых и туннельных печах тех же конструкций, что и для обжига кирпича и стеновых камней.

В кольцевые печи трубы загружают совместно с кирпичом (рис. 135) или без него. Горизонтально укладывают только трубы малых диаметров, а трубы крупных диаметров устанавливают вертикально. При одновременной садке труб малых и крупных диаметров (без кирпича) ножки устанавливают из труб крупных диаметров. Доля кирпича при совместной садке составляет 25—30%. Совместную садку с кирпичом считают обязательной при изготовлении труб из глин с малым интервалом обжига (менее 60—80°) и при обжиге на низкокалорийном многозольном топливе [123]. Наилучшие результаты получают при совместной садке с дырчатым кирпичом или пустотелыми камнями, для которых режим обжига такой же, что и для труб. Позонный режим печи при обжиге труб характеризуется удлиненными зонами подогрева и остывания (табл. 26).

Расход условного топлива на обжиг 1000 труб диаметром 50 *мм* составляет 150—160 *кг*.

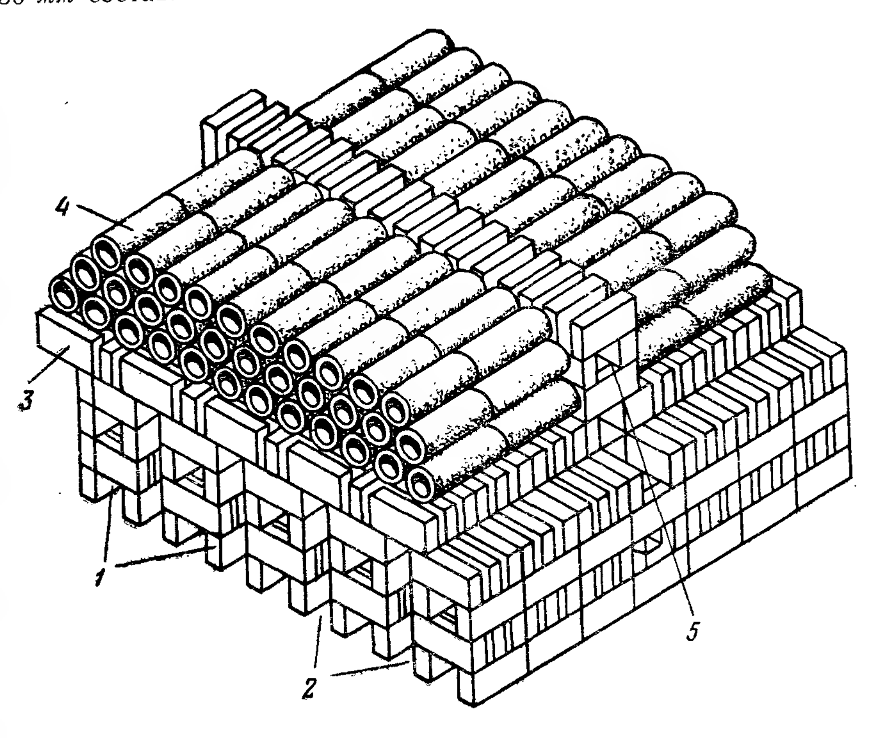


Рис. 135. Совместная садка труб и кирпича в кольцевой печи

1 — ножки; *2* — продольные подовые каналы; *3* — вскрышной ряд; *4* — верхнее строение садки; *5* — колосниковая решетка

Таблица 26

Примерный позонный режим кольцевой печи при обжиге дренажных труб

Зоны	Температура в °С	Количество камер при обжиге труб	
		малых диаметров	больших диаметров
Подогрев	40—750	3—4	5
Взвар	750—1050	1	1
Закал	1050—700	2	2
Остывание	700—60	3—4	2
Выгрузка, садка	60—40	2	2

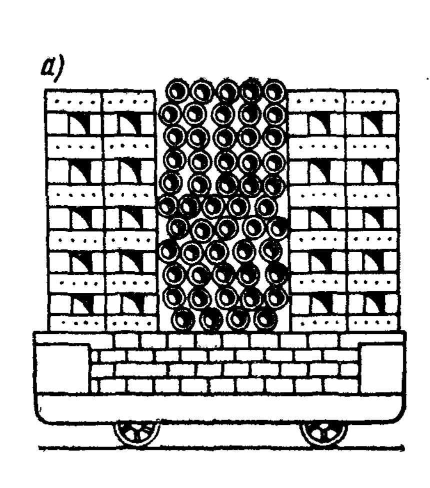
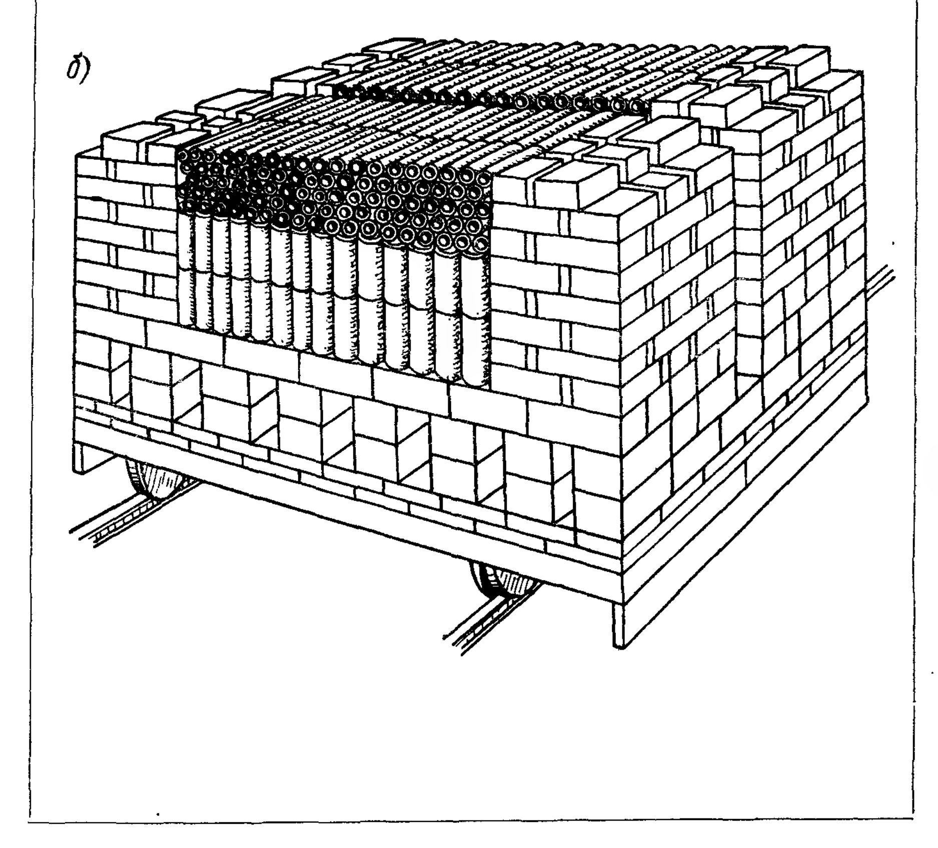


Рис. 136. Комбинированная садка дренажных труб на вагонетку туннельной печи

а — при горизонтальной садке труб; *б* — при смешанной садке труб



В туннельных печах также применяют комбинированную садку труб с кирпичом или стеновыми камнями (рис. 136), а также садку одних труб (рис. 137). Длительность обжига составляет 24 *ч*, съем — около 9 *т* с 1 $м^3$ печного канала в месяц, расход условного топлива — около 40 *кг* на 1 *т* обжигаемой продукции. При садке труб поперек печи длительность обжига возрастает почти в 1,5 раза.

Рис. 137. Садка дренажных труб на специализированную вагонетку туннельной печи

Готовые трубы для отправки потребителю увязываются стальными лентами в пакеты на поддонах или без них (рис. 138).

а) б)

Рис. 138. *Пакетирование готовых труб стальной лентой*

а — без поддона; *б* — на поддоне

5. Пороки труб

Брак в производстве дренажных труб примерно равен 2% в сушке и 4% в обжиге; он резко возрастает с увеличением диаметра труб, достигая для труб диаметром 100 *мм* 14%.

Трещины в трубах могут возникать при продольных надрезах их стенок застрявшими в мундштуке включениями, недопрессовке (кольцеобразные трещины), неравномерной скорости выхода трубы из мундштука (трещины в нижней опорной плоскости), резком режиме сушки и обжига труб с повышенной

влажностью (торцовые трещины), наличии крупных включений (лучевые трещины на поверхности трубы), быстром охлаждении (волосные трещины). Скобяные продольные трещины характерны для труб крупных диаметров и приводят к их распаду на две продольные половинки.

Искривление труб возникает вследствие искривления бруса при его формовании при чрезмерном увлажнении глины, неравномерной сушке, различной толщине стенок труб, обусловленной сдвигом кернов. Искривления труб крупных диаметров возникают также при их горизонтальной садке в печи.

Косая резка получается при неправильной установке резательного автомата, проскальзывании ленты резательного аппарата по отношению к брусу, а также изгибе выходящего из пресса бруса.

Пережог труб возникает при их обжиге в кольцевой печи без подсадки кирпича, когда ножки также выкладываются из труб. Оплавление характерно для труб, устанавливаемых в качестве колосниковой решетки, когда внутрь трубы попадает топливо.

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

Плитки для полов (называемые также метлахскими) относятся к изделиям со спекшимся черепком. Они отличаются высокими плотностью, прочностью, сопротивлением истиранию и поэтому применяются главным образом в санитарных узлах жилых зданий, общественных зданиях с высокой интенсивностью людских потоков, коммунальных и иных предприятиях с влажным режимом (бани, прачечные, мясокомбинаты) и промышленных зданиях с повышенными требованиями к чистоте помещений.

Выпуск плиток для полов непрерывно возрастает. В 1965 г. он составил более 15,2 млн. *м*², а в 1970 г. намечается довести его до 23,5 млн. *м*².

§ 1. ВИДЫ И СВОЙСТВА ПЛИТОК

Виды и технические свойства плиток для полов определены ГОСТ 6787—53. Они могут быть различными по форме: квадратные, шестигранные, прямоугольные, могут иметь различные размеры (табл. 27) и лицевую поверхность: гладкую, рифленую, тисненую, одноцветную, узорчатую, порфировидную. Кроме плоских могут изготавливаться прямые и угловые плинтусные плитки.

Отклонения от размеров не должны превышать: по длине и ширине ±3, а по толщине 0,5 *мм*. Водопоглощение не должно быть больше 4%, а потеря в весе при истирании —0,1 *г/см*².

Таблица 27

Размеры плиток для полов

Плитки	Размеры в *мм*		
	длина	ширина	высота
Квадратные	50	50	10
	100	100	10
	150	150	13
Шестигранные	115	100	10
	173	150	13
Восьмигранные	150	150	13
Прямоугольные	100	50	10
	150	75	13

Помимо плиток указанных размеров для облицовки пола выпускались еще плитки размером 48×48 и 20×20 *мм*. Из них можно было набирать узорчатые ковры, благодаря чему они получили название ковромозаичных или просто мозаичных. Плитки, имеющие размеры, приведенные в табл. 27, не являются изделиями индустриального применения, и облицовка пола ими производится вручную, что является их существенным недостатком. Мозаичные плитки дают возможность в известной мере механизировать этот процесс, особенно при панельном методе возведения зданий. Однако практика применения для облицовки пола плиток различных размеров показала, что с уменьшением размера плитки облицовка пола становится менее прочной. В связи с этим применение мозаичных плиток для облицовки пола в последние годы почти полностью прекратилось.

За рубежом выпускают глазурованные плитки для полов с рифленым рельефом, причем глазуруют только углубления рельефа.

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При изготовлении плиток для полов используются тугоплавкие или огнеупорные глины и различные добавки: каолин, кварцевый песок, пегматит, нефелин-сиенит. Кроме того, при изготовлении цветных плиток применяют красители — хромовую и железную руду, пиролюзит и др.

Основным требованием к глинам является широкий интервал спекания —80—100°. Диапазон химических составов глин, пригодных для производства плиток, приведен на рис. 3.

Вредными примесями в глине являются пирит FeS_2, включения карбоната кальция $CaCO_3$ и сидерита $FeCO_3$, а также гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и слюда.

Большинство заводов при изготовлении плиток для полов используют никифоровскую, николаевскую, часов-ярскую, новошвейцарскую и новорайскую глины, месторождения которых за-

легают в Донецкой области (УССР). Для заводов, строящихся в восточных районах страны, исследуются новые месторождения глин.

В качестве отощающей добавки используют песок, а в качестве плавня — нефелин-сиенит, являющийся наиболее перспективным заменителем пегматита в производстве плиток для полов.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Технологический процесс изготовления плиток для полов включает пять технологических переделов: подготовку порошка, прессование плиток, их сушку, обжиг, сортировку и упаковку.

Различают три способа производства плиток: сухой, пластический и шликерный, которые отличаются способами подготовки прессовочного порошка. Требования к прессовочному порошку регламентируются заводскими технологическими картами. В качестве примера в табл. 28 приводятся данные по двум заводам.

Таблица 28

Показатели прессовочного порошка при изготовлении плиток для полов

Заводы	Влажность в %	Остаток в % на сите №					
		1,2	1	09	07	05	025
Харьковский	8—9	—	—	2—3	20—23	—	—
Кучинский	8—9,5	—	Менее 10	—	—	25—30	20—30

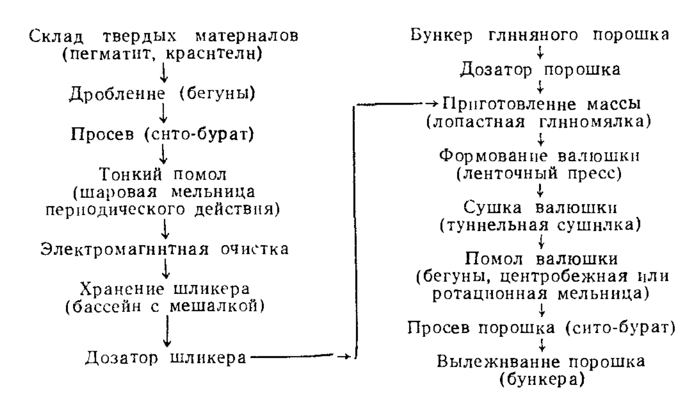
Для повышения качества плиток рекомендуется уменьшить предельный размер зерен в порошке до 0,6—0,7 *мм* [124].

1. Сухой способ

Сухой способ подготовки прессовочного порошка применяют при использовании так называемых глин-натуралов, т. е. пригодных для производства плиток без каких-либо добавок и красителей. Такими глинами являются, в частности, никифоровская, дающая после обжига сочный красный цвет, николаевская (желтый цвет) и беложгущиеся глины некоторых месторождений. Процесс подготовки порошка по этому способу включает следующие операции: склад глины → дробление глины (стругач, зубчатые или дезинтеграторные вальцы) → сушка глины (сушильный барабан) → помол глины (центробежная или ротационная мельницы, бегуны сухого помола) → просев глины (сито-бурат) → вылеживание порошка (бункера).

2. Пластический способ

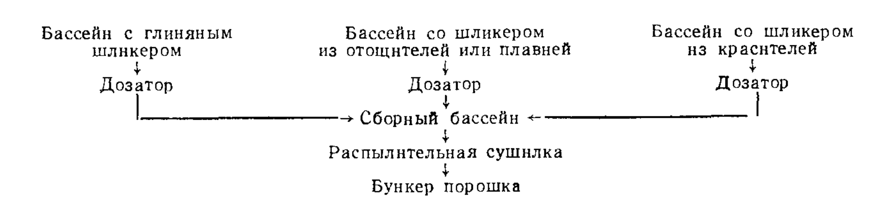
Этот способ применяют при необходимости введения в глину добавок, регулирующих термические свойства глины, или красителей. Из глины приготовляют сухим способом порошок по приведенной выше схеме, а добавки готовят в виде шликера, которым замачивают глиняный порошок до состояния пластичного теста. Из него затем формуют валюшки (заготовки), сушат их, размалывают и просеивают для получения прессовочного порошка. Последовательность операций при пластическом способе приготовления порошка следующая.



3. Шликерный способ

Этот способ обеспечивает наиболее тесное перемешивание компонентов при многокомпонентной шихте и наибольшую однородность массы как по свойствам, так и по цвету. Способ является наиболее надежным для изготовления цветных плиток, а также при использовании глин, характеризующихся непостоянством состава и требующих его усреднения в процессе подготовки порошка. При этом способе готовят отдельно шликеры из глины (путем ее распускания в пропеллерных мешалках), из твердых добавок (приведенным выше способом) и из красителей, затем шликеры дозируют и смешивают, а смесь их сушат в распылительных сушилках.

Схема приготовления порошка шликерным способом имеет следующий вид.



4. Прессование плиток

Большинство заводов прессует плитки для полов на коленорычажных прессах «Робот» и «Тюрингия» с гидравлическим противодавлением. Прессование происходит в две ступени при давлении: I ступень 40—60 и II ступень 220—300 *кГ/см²*. Сброс давления между I и II ступенями прессования обеспечивает удаление из прессуемого порошка воздуха, что исключает его запрессовку. Предел прочности при изгибе спрессованной плитки должен быть не ниже 6 *кГ/см²*.

Коленорычажные прессы с гидравлическим противодавлением обеспечили некоторые улучшенные качества плиток по сравнению с ранее применявшимися фрикционными прессами. Однако наиболее высокое качество имеют плитки, спрессованные на гидравлических прессах, обеспечивающих плавное приложение прессующего усилия в течение сравнительно длительного времени. В связи с этим в настоящее время в отечественной и зарубежной практике начинают получать применение гидравлические прессы с автоматической засыпкой порошка. Харьковский завод «Красный Октябрь» приступил к серийному выпуску гидравлических прессов марки СМ-679/1. Эти прессы могут выпускать 30—32 *м²* плиток в 1 *ч*. Их прессовое усилие 320 *Т*, продолжительность цикла 11—16 *сек*, а удельное прессовое давление на I ступени 50, а на II — 300 *кГ/см²*.

Ковроно-узорчатые плитки прессуются пока на гидравлических прессах с ручной засыпкой порошка. Это очень трудоемко, малопроизводительно и дорого. В связи с этим в настоящее время в ПКБ НИИСтройкерамики (автор М. М. Кельман) создан и проходит наладочные испытания автомат для прессования ковроно-узорчатых плиток. Однако перспективы значительного расширения производства ковроно-узорчатых плиток даже при автоматизации процесса их прессования остаются неясными. Дело в том, что в современной архитектуре стремятся к созданию акцента путем размещения отдельных «пятен» на общем однотонном фоне. Для этого нужны цветные плитки обычных размеров, а не плитки с разноцветным рисунком из них. Тем не менее при освоении автоматов для прессования ковроно-узорчатых плиток их производство сохранится в определенном количестве.

При изготовлении рельефных глазурованных плиток глазурью покрывается вся поверхность плитки, после чего с выступающих частей рельефа глазурный покров счищается резинкой и глазурь остается только в углублении рельефа.

5. Сушка плиток

В предыдущие годы для сушки плиток устанавливали преимущественно полочные конвейерные сушилки, плитки помещали на полки на ребро пачками по 4—5 шт. Температура воздуха на входе составляла 85—90 и на выходе 35° С, длительность сушки 6—7,5 *ч*, а удельный расход тепла — около 14000 *кдж* на 1 *кг* испаренной влаги. Основной недостаток этих сушилок заключается в ручной укладке плиток на полки и ручной их разгрузке, а также в короблении плиток во время сушки.

Несколько лучшими показателями обладают туннельные вагонеточные сушилки. В них сушат плитки либо без капселей, укладывая их стопками на деревянные полки вагонеток, либо в капселях. Длительность сушки без капселей составляет 12—14, а в капселях 24 *ч*. Более удобны туннельные сушилки с сушкой плиток на печных вагонетках, так как они исключают перегрузку плиток с сушильных вагонеток на печные. В таких сушилках плитки укладывают либо в капсели, либо на этажерки стопками, либо стопками на под печной вагонетки, перевязывая отдельные стопки шамотными плитами.

Наиболее совершенными для сушки плиток являются конвейерные сушилки ленточного типа с однорядной сушкой плиток и отоплением панельными или микрофакельными газовыми горелками. Длительность сушки в них плиток для полов составляет 16—24 *мин*. Плохо спрессованная плитка в этих сушилках взрывается, благодаря чему они одновременно с сушкой автоматически предотвращают поступление плохо спрессованных плиток в обжиг. Это, в частности, обусловило снижение на Харьковском заводе брака в обжиге с 12 до 3%. Большинство плиточных заводов в настоящее время демонтирует полочные сушилки, заменяя их конвейерными сушилками ленточного типа.

6. Обжиг плиток

Более 80% плиток для полов обжигают на действующих заводах в вагонеточных туннельных печах открытого пламени со штабельным обжигом, или, как их принято называть, в туннельных печах «нормального сечения». В таких печах плитки для полов обжигают в капселях, на этажерках и в стопках. Применяют также комбинированную садку: нижние ряды плиток устанавливают в капселях или на этажерках, а верхние — стопками. Температура обжига составляет 1100—1200° С, длительность обжига 45—50 *ч*, съем с 1 *м³* печи в месяц в среднем 215 *м²*, удельный расход условного топлива 8,6 *кг/м²*. Переход с капсельного на этажерочный обжиг повысил производительность печей на 12% и на 5—7% уменьшил расход топлива.

За рубежом широкое распространение получил бескапсельный обжиг плиток в муфельных многоканальных печах. Плитки в них обжигают стопками по 8—10 шт. Комплектуют стопки и загружают их в печь автоматы. Срок обжига в таких печах составляет 12—15 *ч*.

Наиболее прогрессивным является однорядный обжиг плиток, для которого в настоящее время экспериментируются два типа печей — роликовые и с шагающим подом. При однорядном обжиге плиток для полов в роликовой печи, по экспериментальным данным НИИСтройкерамики, длительность обжига может быть сокращена до 30 *мин*. При этом размеры печей сокращаются настолько, что их можно включать в состав автоматических поточных линий по производству плиток.

7. Пороки плиток

Недопрессовка, т. е. недостаточное уплотнение порошка из-за низкой его влажности (менее 5%) и недостаточного давления. Этот дефект можно предотвратить, тщательно следя за увлажнением массы и показаниями манометра.

Коробление наблюдается при превышении заданной влажности (в среднем 7%). При использовании масс различной тонкости помола для чернового и покровного слоя наблюдается расслоение плиток вследствие различных усадочных напряжений в этих слоях. Коробление устраняется контролем за влажностью массы, тщательным смешиванием и высушиванием ее, расслоение — путем тщательного подбора зернового состава.

Растрескивание может наблюдаться в случае чрезмерно высокого давления при прессовании, попадания в массу крупных кусочков (неисправное сито), а также вследствие нарушения режима сушки или обжига плиток.

Вздутия на сырых плитках получаются вследствие недостаточного времени для удаления воздуха при прессовании.

Неровности, нарушение граней, щербины, заусенцы, царапины и отбитые углы на плитках являются следствием небрежного прессования, износа прессформ, матриц и транспортного оборудования. Для предотвращения этих пороков необходимо заменить изношенные детали.

Непостоянство размеров возникает из-за неравномерного увлажнения массы, которое приводит к неодинаковой усадке изделий в сушке и обжиге. Суммарная усадка плиток, а следовательно, разница в размерах отпрессованных и обожженных изделий в зависимости от сорта применяемых глин составляет примерно 7—8%. Необходим тщательный контроль за влажностью массы и температурно-газовым режимом в процессе обжига.

8. Сортировка и упаковка плиток

Обожженные плитки сортируют и упаковывают в бумагу по 10—20 шт., пакеты перевязывают шпагатом. Эти операции выполняются пока вручную, однако уже созданы экспериментальные образцы автоматов для их механизации — сортировочной автомат плиток для полов СМ-801, упаковочный автомат плиток для полов СМ-860. Таким образом, в ближайшей перспективе будут автоматизированы и завершающие операции технологического процесса. Это открывает возможность для создания полностью автоматизированных поточных линий по производству плиток для полов.

§ 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Расходы на 1 $м^2$ плиток в среднем составляют: сырья и материалов 30 *кг*, условного топлива 8,6 *кг*, электроэнергия 3 *квт·ч*, труда 0,2 чел.-часа. Расход электроэнергии на 1 отработанный чел.-час. составляет 4 *квт*, а на 1 рабочего — 7600 *квт·ч/год*, средняя выработка на 1 рабочего около 2600 $м^2$ плиток.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ФАСАДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Керамические фасадные изделия благодаря их долговечности и широким архитектурным возможностям получили большое распространение в современном строительстве, а высокая экономичность керамики в сравнении с другими видами фасадных облицовок (табл. 29) обеспечивает им благоприятную перспективу дальнейшего развития.

Таблица 29

Сравнительная экономическая эффективность различных видов материалов для облицовки фасадов крупнопанельных жилых домов (при эксплуатации зданий в течение 50 лет) по данным НИИСтройкерамики
(в рубл. на 1 $м^2$ фасада)

Показатели	Отделка дробленым камнем	Окраска поливинилхлоридными красками	Отделка декоративным бетоном	Облицовка керамикой
Единовременные затраты (сметная стоимость, применения в строительстве) *С*	2,03	0,42	1,55	1,67
Удельные капиталовложения в производство отдельных материалов с учетом сопряженных затрат *К*	0,6	0,76	0,54	1,5
Эксплуатационные расходы по содержанию наружной облицовки фасадов *Э*	0,145	0,271	0,11	0,027
Приведенные затраты *П*	3,58	3,26	2,75	1,95

В табл. 29 приняты обозначения

$$П = С + ЕК + \frac{Э}{E_0}, \qquad (93)$$

где E — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений: $E=0{,}17$; E_0 — то же, при расчете эксплуатационных затрат; $E_0=0{,}1$.

Выпуск фасадных керамических изделий составил в 1965 г. около 3,3 млн. $м^2$, к 1970 г. он должен возрасти почти до 9 млн. $м^2$.

§ 1. ВИДЫ И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ФАСАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Большое многообразие изделий, применяемых для фасадной облицовки зданий, может быть сведено в следующие группы.

По видам применения: изделия для облицовки панелей и крупных блоков; изделия для облицовки монолитной кирпичной кладки.

По функциональному назначению в стене: лицевые изделия, выполняющие одновременно конструктивные и декоративные функции; облицовочные изделия, выполняющие только декоративные функции.

По виду отделки фасадной поверхности: терракотовые — с естественно окрашенным черепком; ангобированные — с тонким декоративным керамическим покрытием, наносимым на сформованное изделие; двухслойные — с декоративным керамическим слоем, образующимся на изделии в процессе его формования; глазурованные — покрытые тонким слоем стекловидного расплава.

По архитектурному назначению: фоновая керамика — для отделки основных, относительно больших поверхностей фасада; акцентная керамика — для отделки отдельных архитектурных элементов фасада — карнизов, поясов, пилястр, обрамлений оконных и дверных проемов и т. п.

По конструкции изделий: кирпич и керамические камни с формой параллелепипеда; профильные изделия; плоские плитки; орнаментированные изделия.

По способам крепления в стене: закладные; прислонные; прокладные.

По методам изготовления: изделия ленточного формования; прессованные изделия из порошков; прессованные из пластичных масс в формах; литые.

Широкое применение в современном строительстве нашли следующие изделия фасадной керамики:

мозаичные плитки размером 48×48 *мм* с естественно окрашенным черепком трех цветов: красные, желтые и белые (или серые);

плитки типа «кабанчик» размером 120×65 *мм*;

цокольные глазурованные плитки размером 150×125 *мм*;

«малогабаритные» плитки размером 145×250 *мм*;

«брекчия» — карамические ковры, набранные из боя некондиционных глазурованных или неглазурованных плиток;

кирпич и семи-или девятищелевые камни размером 250×120×138 *мм* из беложгущихся глин;

двухслойный кирпич и семищелевые камни;

мозаичные литые глазурованные плитки размерами 20×20 и 50×50 *мм*.

В небольших количествах изготавливаются глазурованные плитки: мозаичные размерами 48×48 и 22×22 *мм*, «кабанчик» и «малогабаритные» плитки, а также глазурованные кирпич и керамические камни. Приступили к выпуску цветных мозаичных плиток на Гучковском керамическом заводе (Московской области). Профильный кирпич в настоящее время не выпускается. Прекращено также производство закладных плит и орнаментированных изделий.

Рис. 139. Схема возникновения очага замерзшей влаги в многослойной стене

t — температура; $\mu_п$ — коэффициент паропроницаемости; *1* — основной слой стены с высокой паропроницаемостью; *2* — фасадная облицовка с низкой паропроницаемостью; *3* — слой замерзшей влаги; *4* — изменение $\mu_п$ по толщине стены; *5* — изменение t по толщине стены

Сквозная фасадная облицовка стен глазурованными плитками не вполне надежна. Низкая паропроницаемость такой облицовки может вызвать накопление влаги в стыке стены и фасадной облицовки, а последующее замерзание влаги приведет к отслаиванию облицовки и даже выпадению отдельных плит.

Схема накопления очага замерзающей влаги в стене с облицовкой, обладающей низкой паропроницаемостью, приведена на рис. 139. Вследствие относительно высокой паропроницаемости основной стены *1* и низкой паропроницаемости облицовки *2* водяные пары будут конденсироваться на стыке обоих слоев, образуя очаг влаги *3*. Если при этом температура на стыке слоев является отрицательной (кривая *5*), то влага будет замерзать. Расширение льда при этом будет отслаивать облицовку.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАННЫХ ПЛИТОК

1. Мозаичные плитки

Мозаичные плитки с естественно окрашенным черепком являются в настоящее время наиболее массовыми изделиями для облицовки стеновых наружных панелей всех видов (железобетонных, керамзитобетонных, виброкирпичных и др.). Размеры и свойства этих плиток пока не гостированы. Согласно ТУ 97—64 Главмоспромстройматериалов толщина мозаичных плиток («ковровой неглазурованной керамики») должна быть 4 *мм*, а размеры фасадной поверхности 48×48, 48×22 и 22×22 *мм*; отклонения по длине граней не должны превышать ±1, а по толщине — ±0,5 *мм*; косоугольность допускается не более 2 *мм*. Структура черепка в изломе должна быть однородной, без расслоения и воздушных пустот, а лицевая поверхность — гладкой. Обратная (тыльная) сторона плиток делается рифленой для более прочного сцепления с раствором. Водопоглощение плиток не должно превышать 12%, а их морозостойкость не ниже 25 теплосмен.

Керамические заводы выпускают мозаичные плитки, наклеенные лицевой стороной на бумажную основу, т. е. в виде ковров. Размеры ковров установлены 724×464 и 672×424 *мм*, ширина швов между плитками 4 *мм*, допускаемые отклонения ковров от размеров составляют: по длине и ширине граней ±3 *мм* и по ширине шва между плитками ±1 *мм*. Для ковров используется крафт-оберточная бумага по ГОСТ 8273—57 весом 100—120 *г/м*^{2}, с относительным сопротивлением продавливанию 3 *кГ/см*^{2}.

Мозаичные плитки с естественно окрашенным черепком выпускаются красные из никифоровской глины, желтые — из николаевской глины (СТУ 77-15/35-62) и белые или серые — из веселовской глины (МРТУ 14-06-27-63). Цветные плитки изготавливают из беложгущихся глин с добавкой соответствующего красителя.

Технологический процесс изготовления мозаичных плиток и плиток для полов практически одинаков, и выпуск мозаичных плиток первоначально организовывался на тех заводах и цехах, которые ранее изготавливали плитки для полов. Порошок для прессования мозаичных плиток, как правило, не шамотируется и подготавливается для плиток с естественно окрашенным черепком сухим, а для цветных плиток шликерным способом.

Заключительной операцией в технологии ковроно-мозаичных плиток является наклейка их на ковры. Эта операция в настоящее время выполняется на конвейерах. На цепной горизонтальный конвейер укладывается алюминиевая кассета (шаблон) размером на 1 ковер, гнезда которой соответствуют размерам плиток, а перегородки между гнездами — толщине швов. Углубление гнезд несколько мельче толщины плиток, поэтому последние, будучи уложены в кассету, несколько выступают за пределы ее перегородок. Затем кассеты заполняются плитками лицевой поверхностью наверх и двигаются по конвейеру, проходя туннель подогрева с потолочными панельными газовыми горелками. По выходе кассеты из туннеля на подогретые плитки накладывается предварительно промазанный клеем лист бумаги, после чего кассеты, продолжая двигаться по конвейеру, проходят короткий туннель подсушки и выходящий из него готовый ковер снимается с кассеты и укладывается в стопы. Стопы ковров электропогрузчик перевозит в склад готовой продукции, а освободившиеся кассеты передают для повторного использования к головному концу конвейера. В настоящее время разработан комплект оборудования СМ-728 для набора и наклейки мозаичных плиток на ковры, который механизирует операции размотки рулона бумаги, промазки ее клеем, заполнения кассеты плитками, укладки плиток на проклеенную бумагу, прижима плиток к бумаге, обрезки ковра и его сушки.

В ПКБ НИИСтройкерамики разработана автоматическая линия по производству мозаичных фасадных плиток производительностью 100—120 тыс. *м*^{2} в год. Их прессуют на прессе «Робот», с которого они автоматически поступают на ленточно-сетчатую конвейерную сушилку длиной 13 и шириной 1,1 *м*. Длительность сушки составляет 10—12 *мин*. Высушенные плитки автоматически передаются на ленточно-сетчатую печь длиной 26 и шириной рабочей части 1 *м*. Длительность сушки составляет 28 *мин*, а температура обжига —900° С.

Во вновь проектируемых цехах мозаичных плиток предусматривается всюду подготовка порошка шликерным способом с сушкой шликера в распылительных сушилках.

2. Плитки типа «кабанчик»

Такие плитки выпускаются светлых тонов из беложгущихся глин и применяются как для облицовки панелей (для чего их наклеивают на бумажные ковры), так и для облицовки кирпичной кладки.

Согласно ТУ 258—54 Главмоспромстройматериалов плитки типа «кабанчик» должны иметь размер 120×65×8 *мм* и по согласованию с заказчиком могут поставляться размером 125×60×8 *мм*. Отклонения от размеров не должны превышать по длине сторон ±2, а по толщине ±1 *мм* при разнотолщинности в пределах одной плитки ±0,5 и косоугольности не более 2 *мм*. На лицевой поверхности трещины не допускаются, а на нелицевой могут быть отдельные мелкие трещины, если при этом плитки при простукивании издают чистый не дребезжащий звук. Водопоглощение плиток должно быть в пределах 6—12%, а морозостойкость — не менее 25 теплосмен. Размеры ковра со-

ставляют 750×350 *мм* с шириной шва 6 *мм*, отклонения в размерах не должны превышать по длине сторон ±3 *мм*, а по ширине шва между плитками ±2 *мм*.

Технологический процесс изготовления плиток типа «кабанчик» такой же, как и мозаичных. Их прессуют из нешамотированного порошка, приготовляемого сухим способом из тугоплавких глин; сушат в туннельных сушилках стопками, укладываемыми на деревянные полки вагонеток, а обжигают в периодических или туннельных печах с предварительной укладкой в капсели.

Глазурованные плитки «кабанчик» (ТУ 259—65 Главмоспромстройматериалов) прессуют и сушат аналогично. После сушки их покрывают глухой глазурью и обжигают в многоканальных муфельных печах на керамических поддонах (лещадках).

3. Цокольные плитки

Цокольные глазурованные плитки имеют размер 150×75×9 *мм*. Они являются изделиями штучного прислонного крепления (наклеенными на ковры не выпускаются) и применяются преимущественно для фасадной облицовки цоколей зданий и подземных переходов. Эти плитки имеют спекшийся черепок с водопоглощением не выше 5% и изготавливаются из тех же глин и по той же технологии, что и плитки для полов. Отличие заключается лишь в том, что после сушки их покрывают прозрачной или глухой глазурью и обжигают на керамических поддонах в многоканальных печах. По отдельным заказам их покрывают также глухими цветными глазурями.

ПКБ НИИСтройкерамики запроектирована автоматизированная конвейерная линия для выпуска цокольных плиток производительностью 100 тыс. $м^2$ в год. В этой линии прессование плиток предусмотрено из шамотированного порошка (с добавкой 30% шамота) на прессе «Робот», а однорядная сушка их — в цепной конвейерной сушилке длиной 13 *м*, обогреваемой снизу микрофакельными газовыми горелками. Срок сушки 13 *мин*. На этом же конвейере плитки глазуруют и подсушивают глазурный покров. Специальный автомат перекладывает высушенные плитки на керамические поддоны (лещадки) и направляет их для обжига в многоканальную муфельную печь.

4. Малогабаритные плитки

Это название было присвоено плиткам с размером 250×140×12 *мм* в начале 50-х годов, когда этот размер был наименьшим из всех размеров керамических плит, применявшихся в те годы для облицовки фасадов (закладные плиты «МК», «МГ» и др.). Сейчас эти плитки являются наиболее крупными из всех фасадных изделий, тем не менее название за ними сохранилось.

Малогабаритные плитки изготавливаются неглазурованными и глазурованными. Применяют их как изделия прислонного крепления для облицовки кирпичной кладки, хотя в самом начале панельного строительства в нашей стране они были первыми керамическими изделиями, которыми облицовывались фасады панельных зданий. Однако вследствие трудности их индустриального применения при изготовлении панелей в формах они в настоящее время сохранили свое значение лишь для облицовки кирпичной кладки. При изготовлении керамзитобетонных панелей на прокатных станах Н. Я. Козлова не исключена возможность использования малогабаритных плиток индустриальными методами.

Малогабаритные плитки получают из беложгущихся тугоплавких или огнеупорных глин. Порошок подготавливается сухим способом и шамотируется добавкой 35—40% шамота из тех же глин. Прессуются плитки на прессах «Робот» и других плиточных прессах, сушатся стопами в туннельных сушилках и стопами обжигаются в туннельных печах.

В прошлом эти плитки формовали также из пластичных масс на ленточных прессах пакетным формованием с последующим раскалыванием пакета по надрезам и подшлифовкой граней. Однако такой метод более трудоемок и в настоящее время не применяется.

5. Брекчия

Фасадная облицовка, называемая «брекчия», представляет собой ковры, набранные из боя некондиционных глазурованных или неглазурованных плиток. Согласно ТУ 127—64 Главмоспромстройматериалов, бой плиток в таком ковре должен составлять 50—60% общей его площади. Ковры «брекчия» применяются при облицовки фасадов преимущественно в качестве акцентных вставок*.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Керамические канализационные трубы, изготавливаемые согласно ГОСТ 286—64, представляют собой водоне-

* Технология лицевого кирпича и керамических камней рассмотрена в главе XIV, а глазурованных мозаичных плиток, изотовляемых методом литья, рассматривается в главе XXIV.

проницаемое изделие в виде полого цилиндра с раструбом (рис. 140), покрытое снаружи и изнутри глазурью. Внутренний диаметр труб может быть 125, 150 *мм* и выше до 600 *мм* включительно с интервалом через 50 *мм*. Длина ствола L может быть 800, 1000 и 1200 *мм*, а толщина стенок от 18 до 41 *мм*. За рубежом освоен выпуск керамических труб бо̀льших размеров: диаметром до 900 *мм* и длиной до 2 *м*, а также безраструбных труб с пластмассовыми муфтами и неглазурованных труб с черепком повышенной плотности [125].

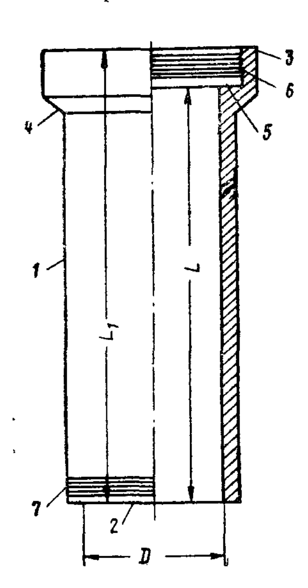


Рис. 140. Общий вид керамической канализационной трубы

1 — ствол; *2* — концевая часть; *3* — раструб (муфта); *4*—венчик; *5* — плечико; *6*, *7* — нарезки; D — диаметр трубы; L — длина ствола; L_1 — длина трубы с раструбом

Трубы при испытании на водопроницаемость должны выдерживать внутреннее гидравлическое давление не менее 2 *атм* и внешнюю сжимающую нагрузку 2000, 2500 и 3000 *кГ* для труб диаметром соответственно 150—250, 300—450 и 500—600 *мм*. Водопроницаемостью называется способность материалов пропускать воду под давлением. Количественно водопроницаемость керамических изделий характеризуют объемом воды в *см*^{3}, просачивающейся в течение 1 *сек* через 1 *см*^{2} поверхности испытуемого керамического черепка заданной толщины при определенном заданном давлении воды. Водопроницаемость зависит от количества и величины открытых канальных пор в материале и поэтому косвенно характеризует структуру керамического черепка.

Водопроницаемость имеет большое значение для кровельной черепицы, канализационных труб, кислотостойких и некоторых других изделий. Для этих изделий действующими ГОСТами и ТУ регламентируется максимальная величина водопроницаемости с тем, чтобы через них не фильтровалась жидкость при их службе в сооружении. Наоборот, при изготовлении так называемых микропористых изделий стремятся получить материал с возможно большей водопроницаемостью, т. е. с лучшей фильтрационной способностью. Водопоглощение труб первого сорта не должно превышать 9, а второго 11%.

Кислотостойкость является одним из видов химической стойкости, под которой понимают способность керамических материалов сопротивляться разрушению под воздействием кислот или щелочей. Соответственно этому различают два вида химической стойкости: кислотостойкость (кислотоупорность) $К$ и щелочеустойчивость $Щ$. Кислотоустойчивость труб должна быть не менее 90%.

Показателем химической стойкости является степень сохранности первоначального веса порошка испытуемого материала после его обработки кислотой или щелочью по методике ГОСТ:

$$К = \frac{G_1}{G_0} = 100\%; \quad (94)$$

$$Щ = \frac{G_1}{G_0} 100\%, \quad (95)$$

где G_0 и G_1 — веса навесок испытуемого материала соответственно до и после обработки кислотой $К$ и щелочью $Щ$.

Кислотостойкость керамических материалов зависит от химического и фазового состава материала, его пористости и структуры. Требования по кислотостойкости регламентируются действующими ГОСТами для канализационных труб и для изделий, предназначенных в качестве футеровки и насадок химической аппаратуры, хранения и транспортирования химически агрессивных жидкостей. Все эти изделия относятся к группе химически стойких керамических изделий.

Трубы не должны иметь искривлений с наружной и внутренней сторон, за исключением торцов, плечика и нарезки.

Вследствие относительно небольших размеров керамические канализационные трубы практически исключают возможность их укладки индустриальными методами и требуют повышенных затрат труда на заделку стыков. В этом их недостаток по сравнению с железобетонными, асбестоцементными и чугунными трубами. Однако относительно высокая химическая стойкость керамических труб делает их незаменимыми для транспорта агрессивных фекальных и промышленных сточных вод. В связи с этим производство керамических канализационных труб продолжает развиваться: выпуск их в 1965 г. составил 410 тыс. *т*, а к 1970 г. намечено довести его до 680 тыс. *т*.

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для изготовления керамических канализационных труб применяются тугоплавкие и огнеупорные глины высокой, средней и умеренной пластичности, низкотемпературного спекания, имеющие интервал спекания не менее 50° и общую усадку не более 17—18%. При обжиге такие глины должны иметь черепок с водопоглощением, не превышающим 7%. Диапазон химических составов глин, пригодных для производства канализационных труб, приведен на рис. 3. Прокаленная глина должна содержать не менее 20% Al_2O_3 и не более 70% SiO_2. Глины не должны содержать включений пирита, известняка, сидерита и угля, а содержание органических примесей не должно

превышать 7% [126]. Тонкость помола глиняного порошка должна соответствовать содержанию зерен размером 1—0,5 *мм* 15—25% и менее 0,5 *мм* —75—85%.

В качестве отощающей добавки применяют шамот, обожженный обычно из тех же глин. С этой же целью в трубную массу добавляют иногда непластичные, так называемые сухарные глины.

Шамот должен иметь водопоглощение не более 8—10% и следующий зерновой состав: содержание зерен размером 3—1 и 1—0,5 *мм* по 20—25% и менее 0,5 *мм* —50—60%. Очень вредна пылевидная фракция шамота с размером зерен менее 0,1 *мм*: сушильные свойства сформованного изделия не улучшаются, но существенно снижается его механическая прочность.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Технологический процесс изготовления керамических канализационных труб включает следующие основные операции: подготовку глиняного порошка, подготовку шамотного порошка, их смешение, приготовление пластичного теста, формование, нарезку и оправку труб, их подвялку, сушку, глазурование и обжиг.

Глиняный порошок готовят сушкой глины в сушильных барабанах, помолом ее в дезинтеграторах и просевом на грохотах. Шамот обжигают в шахтных или вращающихся печах, дробят в щековых дробилках, размалывают в шаровых мельницах и просеивают на грохотах. Для дальнейшего технологического процесса наиболее типична следующая схема:

Расходные бункера глиняного порошка → Питатель →
Расходные бункера шамотного порошка → Питатель →
Двухвальная глиномешалка (сухая)
↓
Вода → Двухвальная глиномялка
↓
Ленточный пресс
↓
Трубный вакуум-пресс
↓
Туннельная сушилка
↓
Глазуровочная машина
↓
Туннельная печь
↓
Склад готовой продукции

Трубная масса содержит 60—70% глины и 30—40% шамота, иногда для повышения степени спекаемости в нее вводят

плавни. Общее содержание глинозема в массе должно быть не ниже 22—24%, а сумма плавней не более 10%.

Все компоненты смешивают сначала в сухом виде в двухвальной глиномешалке, а затем перемешивание продолжают во второй глиномялке, в которую подают воду, доводя влажность пластичного теста до 18—19%. Целесообразно вместе с водой в глиномялку подавать и водяной пар. Пластичная масса для дальнейшей проработки поступает в ленточный безвакуумный пресс. Применение вакуумных ленточных прессов в данном случае вредно, так как вакуумированные куски массы трудно срастаются и повторное вакуумирование в трубном прессе обусловливает для большинства глин расслоение черепка. Переработка массы в ленточном прессе обеспечивает более тесное взаимодействие влаги с глиной и более равномерное распределение шамотных зерен в глиняной связке. На некоторых заводах ленточный пресс формует заготовки (валюшки), которые затем вылеживаются без подсыхания. Однако при формовании труб на вакуум-прессах вылеживание валюшки не обязательно, и передовые заводы освоили безвалюшечный способ подготовки трубной массы: масса из ленточного пресса поступает непосредственно в трубный пресс, а в типовом проекте трубного цеха (шифр проекта № 4-09-565/63) вообще отсутствует переработка массы в ленточном прессе и из двухвальной глиномялки она поступает непосредственно в трубный пресс.

На отечественных заводах трубы всех диаметров формуют на вертикальных трубных прессах, в большинстве случаев безвакуумных. Схема формования трубы на вертикальном прессе показана на рис. 141. В положении *а* подвижной стол *1* поднят и его тарель *2* упирается в колокол *3* пресса. В этом положении

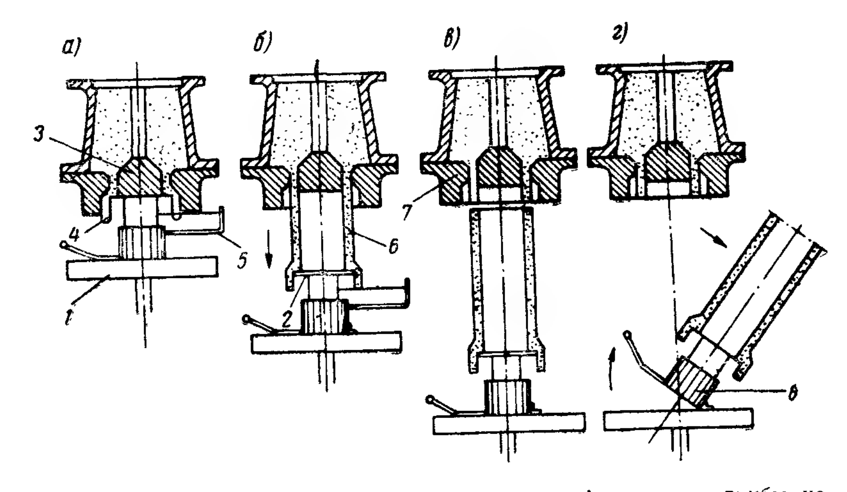


Рис. 141. Схема последовательности процесса формования трубы на вертикальном прессе

происходит формование раструба *4* трубы. Когда раструб отформован, специальным приспособлением *5*, имеющимся на подвижном столе, его обрезают, оправляют торец и нарезают внутреннюю поверхность. В это время подвижной стол начинает опускаться и формуется ствол *6* трубы (положение *б*). В положении *в* труба полностью отформована и отрезана, а стол опущен на уровень, который обеспечивает отрыв трубы от мундштука *7* пресса.

Последовательность дальнейших операций зависит от уровня их механизации. На заводах, работающих с обособленным процессом подвялки, наклоняя цилиндрическую подставку *8* подвижного стола, трубу ставят так, чтобы ее удобно было принять на полуцилиндрический футляр, установленный на транспортной тележке (положение *г*). На этой тележке трубу отвозят в подвялочное отделение, устанавливают там раструбом вверх и в таком положении она подвяливается* в течение 16—20 *ч*. После подвялки трубу переворачивают, устанавливая раструбом вниз, и вручную оправляют и нарезают ствол трубы.

Подвялка трубы длится в общей сложности 20—24 *ч*. Передовые заводы применяют более механизированные схемы, предусматривающие автоматическую нарезку у пресса одновременно с отрезкой трубы. Затем вакуум-присосом, имеющим вид полой камеры с внутренней перфорированной полуцилиндрической стенкой, трубу снимают с подвижного стола, отводят в сторону и кантователем переворачивают раструбом вверх. Кантователь устанавливает трубу на тарель с утопленной штангой. После установки ствола трубы на тарель педальное приспособление выдвигает штангу тарели и специальный кран навешивает штангу на кронштейн монорельсовой сушильной вагонетки или на кошки подвялочно-сушильного цепного конвейера.

Сушат трубы в туннельных сушилках с монорельсовыми вагонетками или конвейерным непрерывным транспортом. Длительность сушки труб диаметром 150—300 *мм* составляет 24, а диаметром 350—500 *мм* —36 *ч*. Остаточная влажность труб после сушки не должна превышать 2—3%. Высушенные трубы глазуруют. Составы некоторых трубных глазурей приведены в табл. 30.

Расход глазури (по сухому весу) на 1 *т* сухих труб составляет около 15 *кг*.

Глазуруют трубы путем погружения их в бассейны с глазурью. Механизируют этот процесс по-разному. Некоторые заводы применяют глазуровочную машину Щекинского завода (рис. 142). На Кудиновском заводе мостовой кран, снабженный манипуляторами, снимает пакет труб с промежуточного стола,

* Подвялкой в технологии керамики называют медленный нерегулируемый процесс подсушки сформованных изделий до их кожетвердого состояния. В подвялочных отделениях трубных заводов поддерживается температура 30—40° С и относительная влажность около 90%.

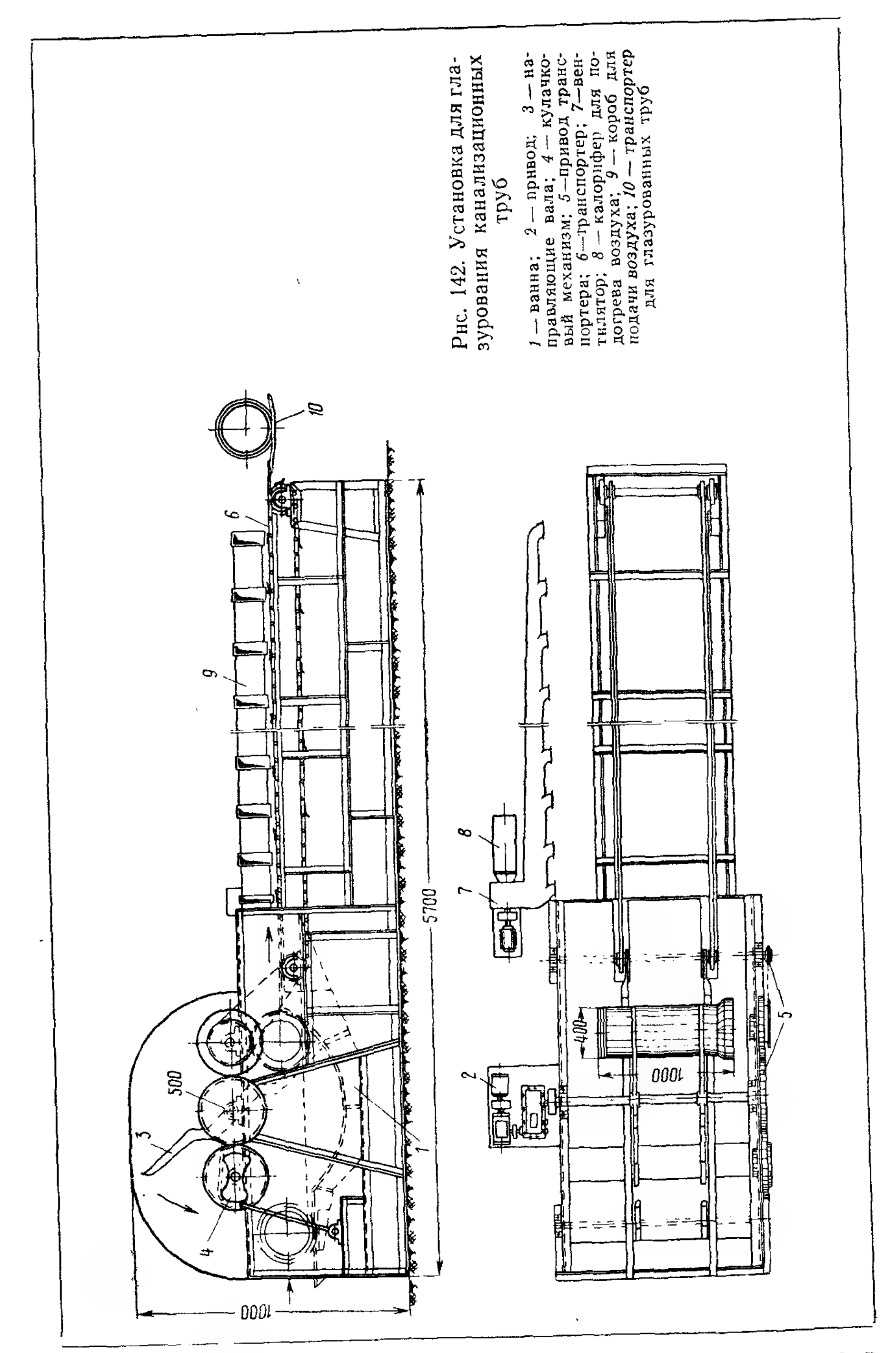


Рис. 142. Установка для глазурования канализационных труб

1 — ванна; *2* — привод; *3* — направляющие вала; *4* — кулачковый механизм; *5* — привод транспортера; *6* — транспортер; *7* — вентилятор; *8* — калорифер для подогрева воздуха; *9* — короб для подачи воздуха; *10* — транспортер для глазурованных труб

Таблица 30

Составы глазурей для труб (в %)

№ глазури	Легкоплавкая глина	Пегматит или полевой шпат	Мел	Бой оконного стекла	Марганцевая руда	Железная руда
1	58	20	12	—	10	—
2	25	30	9	23	8	5
3	54	20	15	—	8	3

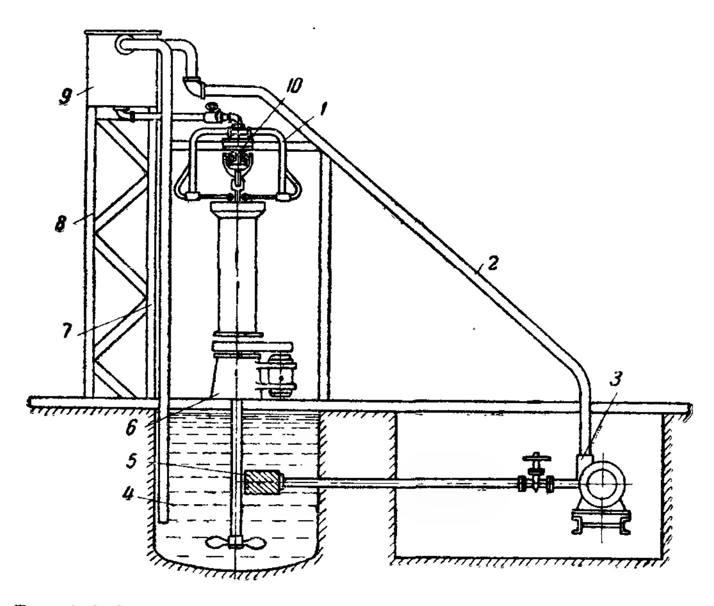


Рис. 143. Установка СМ-411Б для глазурования труб поливом

1 — поливное устройство; *2* — трубопровод; *3*—насосная установка; *4*—резервуар; *5* — фильтр; *6* — мешалка; *7* — сливная труба; *8* — сварная подставка; *9* — бак; *10* — монорельс сушильного конвейера

опускает их в бассейн с глазурным шликером, а затем вынимает и устанавливает на второй стол, с которого они грузятся на печные вагонетки. В установке СМ-411Б (рис. 143) трубы глазуруются поливным способом и затем их направляют в обжиг, максимальная температура которого составляет 1100—1160° С.

Примерно $^2/_3$ всех выпускаемых в СССР труб обжигают в туннельных печах с длительностью обжига 48—50 *ч*. Однако трубы диаметром более 300 *мм* все еще обжигают в периодических печах, хотя в НИИСтройкерамике проведены успешные опыты по обжигу труб крупных диаметров в туннельных печах. Эти опыты показали необходимость некоторого увеличения длительности обжига для труб крупного диаметра.

Первые туннельные печи для обжига канализационных труб длиной 109 *м* оказались коротки и обусловливали появление «холодного треска». Для его ликвидации заводы удлинили зону охлаждения за счет укорочения зоны обжига на 8 позиций. В последующих проектах длина туннельных печей для обжига канализационных труб была увеличена до 117 *м*, а в последнем проекте принята 139 *м*. Садку труб производят «в начинку», плотность садки около 290—320 *кг/м*³. Съем с 1 *м*³ печи — 2850—3760 *кг/м*³ в месяц.

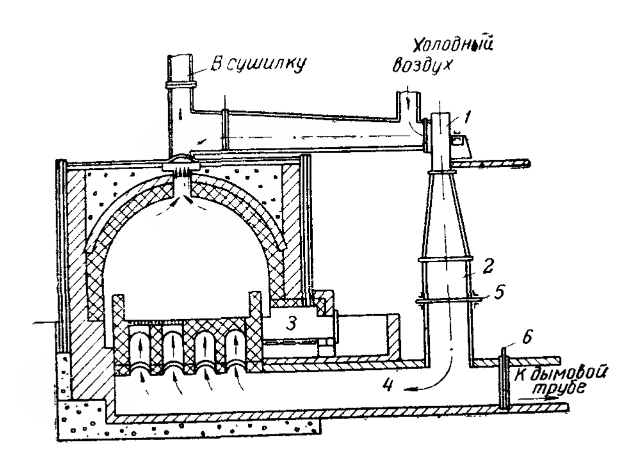


Рис. 144. Рециркуляционное охлаждение периодической печи

1 — рециркуляционный вентилятор; *2* — канал для рециркуляционного воздуха; *3* — топка; *4* — дымовой канал; *5* — шибер рециркуляционного воздуховода; *6* — шибер дымохода

В периодических печах обжигают трубы диаметром более 300 *мм*. Продолжительность цикла составляет 85—115 *ч* в зависимости от диаметра труб. Садку труб производят в несколько ярусов соответственно высоте печи. Плотность садки составляет 210—270 *кг/м*³.

На керамическом заводе в г. Нальчике при обжиге канализационных труб в периодических печах успешно осуществлено рециркуляционное охлаждение, снизившее в несколько раз брак «холодный треск» (рис. 144). Одна часть горячего воздуха из рабочей камеры печи направляется в сушилку, другая засасывается вместе с окружающим воздухом вентилятором и направляется по рециркуляционному воздуховоду и дымовому каналу в рабочую камеру. Система рециркуляции позволяет гибко регулировать режим охлаждения изделий.

Выгруженные из печи трубы сортируют. Годную продукцию отправляют на склад, а брак — в переработку на шамот.

§ 4. ПОРОКИ ТРУБ

Наиболее тяжелыми пороками готовых труб являются трещины нескольких видов. Основные пороки труб перечислены ниже.

Венчиковая трещина — кольцевая трещина на внутренней поверхности ствола на расстоянии 20—30 *мм* от плечиков. Причины ее появления точно не установлены.

Концевые и раструбные трещины появляются при обжиге труб, недостаточно высушенных или сформованных из чрезмерно отощенной массы. При обжиге труб больших диаметров для предупреждения этих трещин трубы устанавливают на специальные кольца-подкладки.

Трещины по плечику появляются по тем же причинам.

Среди других пороков наиболее характерны **плешины и потертости**, которые появляются в результате плохого покрытия поверхности трубы глазурью.

Выплавки. В глине иногда встречаются природные включения железосодержащих минералов — пирита, сидерита и т. п., которые образуют выплавки на поверхности трубы. Для их устранения необходимы сортировка и обогащение сырья.

Отколы вызываются небрежной укладкой и транспортированием труб или плохим состоянием транспортирующих устройств.

Отслаивание появляется при обжиге труб с высокой влажностью и недостаточном отборе влажного воздуха из зоны сушки; это приводит к запариванию трубы и отслаиванию верхних слоев.

§ 5. КОНВЕЙЕРНЫЕ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБ

В последние годы на некоторых действующих заводах процессы от формования до сушки труб включительно выполняются на конвейерных линиях; новые заводы проектируются только с применением таких линий.

В типовом проекте цеха керамических канализационных труб производительностью 28—32 тыс. *т* в год (шифр проекта 4-09-565/63) конвейерная линия состоит из комплекта оборудования СМ-978, который автоматизирует формование, оправку, сушку и глазурование труб и съем их с сушильного конвейера. Комплект СМ-978 включает:

два вертикальных шнековых вакуум-пресса: СМ-306Б и СМ-979 для формования труб диаметром соответственно 350—400 и 150—300 *мм*. Прессы укомплектованы кантователем СМ-902А, оправочным станком СМ-980, подъемным столом СМ-904А, перегружателем СМ-981 и съемником;

две установки для глазурования труб СМ-411Б;

два сушильных конвейера СМ-982 и СМ-983;

моечный механизм СМ-906А;

накопитель труб СМ-984.

Работа линии происходит следующим образом. Кантователь вакуум-присосом отбирает трубу от пресса и передает ее к оправочному станку, а также к подъемному столу, одновременно поворачивая ее раструбом вверх. Оправочный станок оправляет конец ствола и раструб трубы. Подъемный стол принимает штанги с тарелями, подводит их к трубе, поднимает штангу и выталкивает ее, а после съема трубы со штангой и тарелью возвращается в исходное положение. Перегружатель поднимает штангу с тарелью и трубой с подъемного стола, переносит их и навешивает на очередную кошку сушильного конвейера. Съемник снимает штанги с тарелями с сушильного конвейера, переносит их и опускает на подъемный стол. Цепной сушильный конвейер транспортирует трубы через сушилку и установку для глазурования, а затем, перенося штанги с тарелями через моечный механизм, возвращает их к подъемному столу. Максимальная температура в сушилке составляет 150° С. Трубы глазурью поливают сверху. Съемник снимает трубы со штангами и тарелями с сушильного конвейера и устанавливает их на накопитель труб шагового действия, перемещающий трубы со штангами и тарелями. Снимают трубы и устанавливают их на печные вагонетки при помощи кран-балки. Освободившиеся от труб штанги с тарелями навешиваются съемником на сушильный конвейер. В камере моечного механизма со штанг с тарелями смывается глазурь. Общий вид конвейерной линии для производства канализационных труб показан на рис. 145.

Внедрение конвейерных линий высвободило на Щекинском заводе 62, а на Харьковском — 28 рабочих.

§ 6. НОВЫЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ

1. Горизонтальное формование труб

За рубежом на многих заводах трубы диаметром до 350 *мм* формуют на горизонтальных прессах. По сравнению с вертикальными горизонтальные прессы имеют большую производительность, допускают одноэтажную компоновку всего оборудования с соответствующим снижением капитальных затрат и позволяют формовать трубы из масс пониженной влажности, что предотвращает деформацию труб и сокращает срок их сушки.

В СССР спроектирован комплект оборудования СМ-907 для горизонтального формования труб диаметром 50—200 *мм*. Такая технологическая линия показана на рис. 146.

Трубы формует комбинированный горизонтальный вакуум-пресс *1* типа СМ-908, снабженный трубоформующей головкой. Раструб формуется в закрытую полость, образованную трубоформующей головкой пресса и торцом штанги раструбоформу-

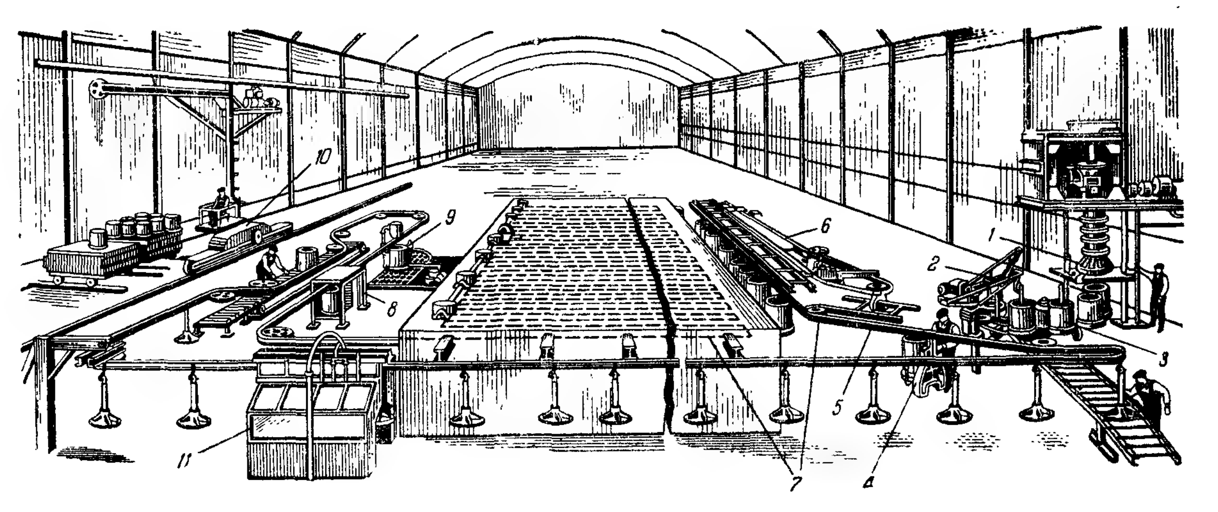


Рис. 145. Конвейерная линия для производства канализационных труб

1 — пресс; *2* — кран; *3* — конвейер пресса; *4* - оправочно-нарезной станок; *5* — электроперегружатель; *6* — промежуточный конвейер; *7* — сушильный конвейер; *8* — обдувка труб; *9* — глазурование изделий; *10* — погрузка труб на обжиговую вагонетку; *11* — мойка подвесок

Рис. 146. Технологическая схема линии горизонтального формования керамических канализационных труб

ющей машины *2*, прижатым к головке. Когда формование раструба закончено, штанга раструбоформующей машины под действием выжимаемой шнеком трубы начинает перемещаться и в это время формуется ее ствол. Штанга, перемещаясь, увлекает за собой транспортер *3*, поддерживающий трубу колодками, прикрепленными к его ленте. По окончании формования ствола заданной длины шнек пресса автоматически останавливается, труба отрезается и отводится транспортером вперед и затем из ее раструба специальный привод выводит головку раструбоформующей машины. Пневмосталкиватель перемещает отформованные трубы на наклонную плоскость — скат *4*, по которой она попадает на оправочный станок *5*, находясь при этом в лотке ската. Оправочный станок имеет два шпинделя, из которых один оправляет конец ствола, а другой — раструб. Наклонением лотка труба по скату перемещается на сушильную рамку, которая подается специальным механизмом *6*. Другой механизм сталкивает сушильную рамку вместе с трубой на вильчатую этажерку *7*, перемещаемую по вертикали подъемником *8*. Полностью загруженную этажерку аккумуляторный погрузчик *9* отвозит в туннельную сушилку *10*.

По расчетам ВНИИСТРОММАШ [125], горизонтальное формование труб позволяет снизить трудозатраты в 1,7 раза, металлоемкость оборудования в 2,2 раза, расход электроэнергии в 2 раза, капитальные затраты в 1,8 раза и эксплуатационные расходы в 2,2 раза.

2. Гидростатическое прессование труб

В НИИСтройкерамике разработан и на опытном стенде успешно опробован гидростатический способ прессования труб из порошкообразных масс с влажностью 7—11% при давлении 150 *кГ/см²* и с вакуумированием порошка при разряжении 600 *мм рт. ст.* На основе этих работ запроектирована промышленная установка для гидростатического прессования труб (рис. 147). Прессование трубы на такой установке происходит так. Вокруг цилиндрического керна *1* имеется резиновая оболочка *2*, прикрепленная своими концами к наружному цилиндрическому корпусу *3*. Пространство между керном и резиновой оболочкой образует прессовую камеру, которая заполняется порошком, а в пространство между резиновой оболочкой и корпусом подается под давлением жидкость, которая производит работу прессования. Для того чтобы резиновая оболочка при засыпке в пресс-камеру порошка придавала внешней поверхности трубы правильную геометрическую форму, ее перемещение ограничивает перфорированный металлический цилиндр, укрепленный между оболочкой и корпусом. Внутренняя поверхность раструба оформляется, включая нарезку, установкой пробки *4*, имеющей трехзаходную винтовую резьбу, а вся система сверху герметизируется крышкой *5*.

При подготовке пресс-камеры к засыпке порошка в пространство между поверхностью керна и резиновой оболочкой при закрытой крышке подается сжатый воздух. В результате оболочка прижимается к внутренней поверхности перфорированного цилиндра, образуя пространство для засыпки порошка. Затем специальный механизм снимает крышку, в камеру засыпают порцию порошка и крышку закрывают. После этого в пространство между корпусом и резиновой оболочкой подается под давлением вода и одновременно производится вакуумирование пресспорошка.

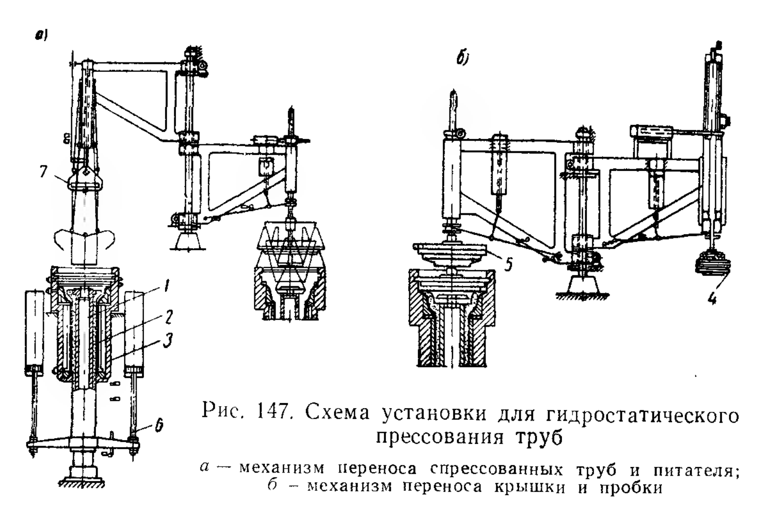


Рис. 147. Схема установки для гидростатического прессования труб

а — механизм переноса спрессованных труб и питателя; *б* — механизм переноса крышки и пробки

Когда прессование трубы закончено, в пресс-камеру подают сжатый воздух, который отжимает оболочку к внутренней поверхности перфорированного цилиндра, а специальные механизмы снимают крышку и вывинчивают пробку. После этого включают гидроцилиндры выталкивателя *6*, который выталкивает отпрессованную трубу. Ее снимает съемник *7*, и цикл повторяется. Отформованные трубы можно сразу глазуровать и направлять в сушилку. Установка может формовать 20 труб в 1 *ч* диаметром 450—500 *мм*.

Полусухое прессование особо перспективно для изготовления труб крупного диаметра, при формовании которых пластическим способом возникает много трудностей.

§ 7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Трудозатраты на 1 *т* труб составляют в среднем 8,7 чел.-час, выработка на 1 рабочего — около 95 *т*, расход условного топлива 306 *кг*, расход электроэнергии 93 *квт·ч/т*. Энерговооруженность труда составляет по расходу электроэнергии на

1 рабочего 9700 *квт·ч* в год, а по расходу электроэнергии на 1 отработанный чел.-час 4,6 *квт·ч*. Средняя себестоимость 1 *т* труб равна 31,5 руб.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Кислотостойкие керамические изделия, которые ранее называли кислотоупорными, а в последние годы называют химически стойкими (что, конечно, точнее), применяют в химической, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности для замены или защиты металлических частей различных аппаратов, емкостей и машин, находящихся под воздействием агрессивных сред (жидкостей или газов). Эти изделия имеют черепок повышенной плотности, а также высокую механическую прочность и термостойкость, поскольку во многих случаях они подвергаются попеременному воздействию высоких и низких температур.

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, НОМЕНКЛАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Кислотостойкие керамические изделия по структуре черепка делят на две группы: с грубозернистым и тонкозернистым черепком (фарфоровым).

По назначению различают изделия футеровочные, насадочные и химическую аппаратуру.

Футеровочные изделия имеют грубозернистый черепок. К ним относятся кирпич и плитки.

Кислотоупорный кирпич изготавливают прямой размером 230×113×65 *мм*, клиновой, торцовый двусторонний размером 230×113×65×55 *мм* и клиновой ребровый двусторонний тех же размеров. По качественным показателям кислотоупорный кирпич делят на три сорта.

Плитки выпускают марки *К* (кислотоупорные), *ТК* (термокислотоупорные) и специализированные для гидролизной промышленности. Плитки изготавливают квадратные со сторонами размером от 50 до 200 *мм*, прямоугольные со сторонами размером от 50×100 до 230×113 *мм* и клиновидные с размерами, сопряженными с размерами прямоугольных плиток. Толщина плиток равна 10—50 *мм*.

Технические требования к изделиям регламентированы: кислотоупорному кирпичу ГОСТ 474—67, плитам марок *К* и *ТК* — ГОСТ 961—57 и плиткам для гидролизной промышленности ГОСТ 5532—63 (табл. 31).

Таблица 31

Технические требования к кислотоупорному кирпичу и плиткам

Показатели	Сорт кирпича			Плитки		
	I	II	III	*К*	*ТК*	для гидролизной промышленности
Кислотостойкость в %:						
кирпича, не менее	96	94	92	—	—	—
плиток толщиной в *мм*:						
до 10 (вкл.)	—	—	—	98	—	—
от 10 до 30	—		—	97	97	—
свыше 30	—	—	—	96	96	97
Водопоглощение в %:						
кирпича, не более	8	10	12	—	—	—
плиток толщиной в *мм*:						
до 30	—	—	—	6	7	—
свыше 30	—	—	—	7	9	—
» 35	—	—	—	—	—	6
» 50	—	—	—	—	—	8
Предел прочности в *кГ/см²*, не менее:						
при сжатии	250	200	150	300	300	300
» изгибе	—	—	—	150	150	—
Термическая стойкость (количество теплосмен), не менее	2	2	2	2	8	10

Насадочные изделия применяют в химической промышленности для заполнения башен с целью увеличения поверхности взаимодействия реагирующих в них газовых и жидких сред. Насадочные изделия, именуемые кольцами Рашига, изготовляют в виде полых цилиндров из керамических и фарфоровых масс. Их свойства регламентированы ГОСТ 748—41 и ГОСТ 8261—56. Керамические кольца Рашига могут иметь диаметр и высоту от 25 до 150 *мм* и толщину стенок от 4 до 15 *мм*, а полуфарфоровые и фарфоровые — диаметр и высоту от 15 до 50 *мм* и толщину от 2—5 *мм*. Кислотостойкость должна быть для керамических колец не менее 96%, для полуфарфоровых и фарфоровых не менее 98%, а водопоглощение не более соответственно 5 и 2%. **Термостойкость в** теплосменах (при последовательном нагреве до 350° С и охлаждении в проточной воде) должна составлять не менее 2 для керамических колец, не менее 5 для полуфарфоровых и фарфоровых размером 50 *мм* и не менее 6 для тех же колец размером 15 и 25 *мм*. Предел прочности при сжатии колец, установленных на торец, составляет от 350 до 11 000 *кГ/см²*.

Изделия химической аппаратуры имеют сравнительно большую номенклатуру и могут быть разделены на два основных вида: аппараты без движущихся частей (емкости, баки, теплообменники и др.) и аппараты с движущимися частями, являющиеся по существу машинами из керамических деталей (реак-

торы с мешалками, насосы, эксгаустеры и др.). Форма и размеры аппаратов регламентированы соответствующими ГОСТами. Технические свойства их приведены в табл. 32.

Таблица 32

Технические свойства химически стойкой аппаратуры

Показатели	Керамическая, сорт I	Керамическая, сорт II	Фарфоровая, ГОСТ 861—55
Кислотостойкость в %, не менее	98	97	—
Потеря в весе в *мг* на 1 *дм*² поверхности образца при кипячении в 10%-ной соляной кислоте в течение 3 *ч*, не более	—	—	9
Щелочестойкость при кипячении в 10%-ном растворе соды в течение 3 *ч* в *мг/дм*², не более	—	—	42
Водопоглощение в %, не более:			
керамических змеевиков (холодильников)	3	3	—
труб	3	5	—
остальных аппаратов	3	6	—
Предел прочности при сжатии в *кГ/см*², не менее	400	300	—
Термостойкость в теплосменах, не менее	2	1	—

Стойкость изделий при их службе в различных средах зависит от химического характера среды и ее концентрации. В результате химического взаимодействия агрессивной среды с керамическим черепком происходит разъедание его составных частей, в первую очередь стекловидной фазы, образуются растворимые соли, которые постепенно выщелачиваются, повышается водопоглощение черепка, а его кислотостойкость и механическая прочность понижаются. Разрушение черепка может наступить также вследствие взаимодействия с водой и объемного увеличения сернокислых солей алюминия, образующихся при воздействии серной кислоты на метакаолинит, который обладает более высокой, чем муллит, реакционной способностью. Следовательно, повышение степени муллитизации керамического черепка при его обжиге обеспечивает увеличение кислотостойкости изделий.

Наибольшей агрессивностью по отношению к керамическому черепку обладает соляная кислота, несколько меньшей — серная, азотная и винная и наименьшей — уксусная. В длительные сроки (5 месяцев), по исследованиям НИИСтройкерамики [127] наиболее сильно действует серная кислота. Концентрированные кислоты производят меньшее корродирующее действие, нежели разбавленные.

Содержание в черепке окислов железа, кальция и магния понижает, а окиси алюминия повышает его кислотостойкость.

Однако равномерно распределенные дисперсные окислы железа практически не снижают кислотостойкости черепка.

Ко всем химически стойким изделиям предъявляются требования по термостойкости. Термостойкостью называется способность материала выдерживать без разрушения либо без потери прочности резкие колебания температур. Единого показателя, количественно характеризующего термостойкость, для всех керамических материалов не существует.

Для некоторых материалов величина термостойкости характеризуется количеством теплосмен, которые они выдерживают до определенной степени разрушения, выражаемой потерей веса в % от первоначального, либо до появления первой трещины. Применяется также метод оценки термостойкости керамических материалов по потере их прочности при изгибе после определенного количества теплосмен. Все эти показатели лишь качественно характеризуют вероятную долговечность материала при службе в условиях, когда он подвергается воздействию температурных колебаний. Для расчетных целей ни один из этих показателей не годится.

Термостойкость материала (при одинаковых условиях теплообмена) зависит от его коэффициента термического расширения, коэффициента температуропроводности, модуля упругости, предела прочности при растяжении коэффициента поперечного сжатия (коэффициента Пуассона). Из этих показателей наиболее резкое влияние на термостойкость керамических материалов оказывает коэффициент термического (линейного) расширения $K_{тр}$, в связи с чем его величиной часто пользуются для первого суждения о термостойкости рассматриваемого материала. С возрастанием $K_{тр}$ термическая стойкость падает.

Термостойкость некоторых керамических материалов практически обусловливает долговечность их службы. Поэтому показатель термостойкости регламентируется ГОСТами для огнеупорных материалов, облицовочных плиток, химически стойкой керамики и для некоторых других изделий.

Способность некоторых изделий простейшей формы выдерживать заданное изменение температуры можно определить расчетно, воспользовавшись (для плоских изделий) графиком (рис. 148) [128]. На графике приняты следующие обозначения: σ_x — термические напряжения, возникающие в плите, в *кГ/см*²; $K_{тр}$ — коэффициент термического расширения в 1/*град*; E — модуль упругости в *кГ/см*²; ν — коэффициент Пуассона (может быть принят равным 0,2); Δt — разность между начальной температурой плиты и температурой окружающей среды в °С; Fo — критерий Фурье; $\mathrm{Fo} = \frac{a\tau}{x^2}$; a — коэффициент температуропроводности в *м*²/*ч*; τ — длительность нагрева (или охлаждения) в *ч*; x — половина толщины плиты в *м*; Bi — критерий Био;

$\mathrm{Bi} = \frac{\alpha}{\lambda} x$; α — коэффициент теплоотдачи в *ккал/м²·ч·град*; λ — коэффициент теплопроводности в *ккал/м·ч·град*.

Если экспериментальным путем определены величины $K_{тр}$, E, a и λ, то для заданной длительности теплосмены вычисляется Fo, по заданным условиям охлаждения определяется α и вычисляется Bi, после чего по графику находится численная величина $\frac{\sigma_x (1 - \nu)}{E \Delta t K_{тр}}$, а по ней вычисляется величина возникающего напряжения σ_x. Если эта величина не превышает предела прочности, то изделие не разрушится.

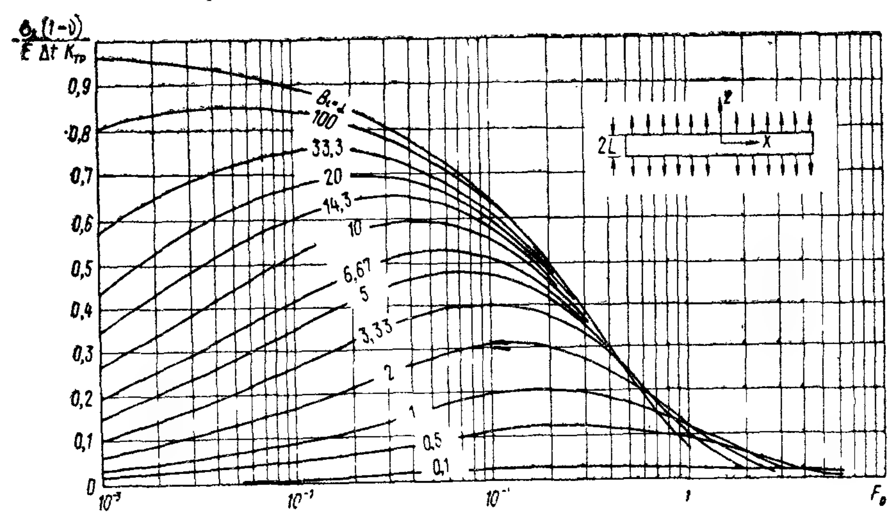


Рис. 148. График для определения температурных напряжений в материале

Переход от оценки термостойкости качественными показателями, принятыми в технологии керамики, к расчетным методам количественного определения этого свойства представляется физически более строгим и наиболее перспективным.

В новых ГОСТах на некоторые химически стойкие изделия введено требование по газопроницаемости, т. е. способности керамических материалов пропускать газы через поры. Количественной мерой этого свойства является коэффициент газопроницаемости μ — количество газа в *л*, прошедшего через 1 *м²* площади изделия толщиной 1 *м* в течение 1 *ч* при разности давлений по обе стороны изделия в 1 *кГ/м²*

$$\mu = \frac{V\delta}{F (P_1 - P_2) z}, \qquad (96)$$

где V — объем прошедшего газа в *л*; δ — толщина изделия в *м*; F — площадь изделия в *м²*; P_1, P_2 — давление газа

по обе стороны изделия в *кГ/м²*; z — время прохождения газа в *ч*.

Газопроницаемость материала зависит от количества открытых пор, их формы и размеров. Это свойство важно для керамических материалов, которыми футеруются некоторые аппараты химической промышленности (при проникновении через толщу футеровки агрессивных газов может корродировать металлическая оболочка аппарата), а также для стеновых материалов, для которых фильтрация воздуха через стену необходима для обеспечения нормального микроклимата в помещении (стена должна «дышать»).

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основным сырьем для изготовления химически стойких изделий являются спекающиеся глины. Кроме того, применяют каолин в качестве добавки, регулирующей свойства глины, а в производстве изделий с фарфоровым черепком — как основное сырье. В качестве отощающих добавок используют шамот, бой готовых бракованных изделий (череп) и иногда кварцевый песок.

Специальные добавки — глинозем, карборунд, тальк, дунит — применяют для регулирования отдельных свойств керамического черепка — термостойкости, теплопроводности, прочности. Используемые глины содержат (в %): 53—68 кремнезема, 20—32 глинозема, 0,8—4 окислов железа, 1—2 щелочноземельных окислов и 1—4,2 щелочных окислов. В глинах, в составе которых железистые окислы находятся в тонкодисперсном, равномерно распределенном состоянии и где они входят, по-видимому, в состав кристаллической решетки глинистых минералов, содержание этих окислов достигает 10% и не исключает возможности их использования для производства кислотостойких изделий (никифоровские глины Донецкой обл.). Из железистых примесей наиболее вредны пирит и сидерит. Углистые глины в производстве кислотоупорных изделий не используют. Содержание глинистых частиц (с размером зерен менее 5 *мк*) колеблется от 45 до 95%. Число пластичности глин составляет 8—23, огнеупорность — 1530—1710° С. Глины должны быть спекающимися.

Под интервалом обжига в производстве кислотоупорных изделий понимают разность между температурами максимального уплотнения (когда начинается вспучивание) и образования черепка с требуемым водопоглощением. Этот интервал должен быть не менее 60—80° для глин, из которых изготавливают изделия с водопоглощением черепка более 5% и более 80° — для изделий с водопоглощением черепка менее 3% [127].

Для производства кислотоупорных изделий применение получили глины: часов-ярская, дружковская, ново-швейцарская, артемовская, николаевская, никифоровская (Донбасс), нижне-

19*

увельская (Урал), лукошинская (Тульская область), печерская (Псковская область), кантская и тулунская (Сибирь). Шамот для кислотоупорных изделий приготавливают из спекающихся глин и вводят его в количестве от 15 до 40%.

Для изделий с грубозернистым черепком (кирпич, плитки и др.) максимальный размер зерен шамота может быть 1—3 *мм*, для химической аппаратуры и других изделий с тонкозернистым черепком — не более 0,5 *мм* и для некоторых специальных видов химической аппаратуры тонкость помола шамота характеризуется 10—25%-ным остатком на сите 006.

Песок кварцевый добавляют преимущественно в фарфоровые массы. Он может содержать примеси полевошпатных пород, но не должен содержать железистых, карбонатных и других примесей.

В качестве плавней, повышающих плотность черепка, применяют пегматиты, полевые шпаты и нефелин. Тальк и дунит используют как добавки, повышающие термическую стойкость изделий, так как при их взаимодействии с глиной в обжиге образуется минерал кордиерит $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$, обладающий малым коэффициентом термического расширения. Карборунд (ГОСТ 3747—59), а также электрокорунд добавляют при изготовлении движущихся частей химической аппаратуры (например, крыльчатки насосов), поскольку эти добавки повышают механическую прочность черепка и его сопротивление истиранию. Пирофиллит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ повышает кислотостойкость и механическую прочность изделий.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

1. Основные операции технологического процесса

Технологический процесс изготовления кислотоупорных керамических изделий включает, в наиболее общем случае, следующие операции: подготовку сырьевых материалов, приготовление массы, формование изделий, сушку высушенных изделий, их глазурование, обжиг и, для некоторых видов изделий, механическую обработку.

2. Подготовка сырьевых материалов

Подготовка сырья сводится к сушке и помолу глины и к приготовлению измельченного шамота. Глина, используемая в качестве связки, перед смешением с шамотом должна быть измельчена до 70—80%-ного содержания зерен величиной не более 0,5 *мм*. Только при такой тонкости помола глины происходит ее полное взаимодействие с водой в условиях пластической обработки массы и обеспечивается создание вокруг зерен

отощителя обволакивающих глинистых пленок, обеспечивающих получение после обжига плотного черепка с малой водо- и газопроницаемостью. Наличие в массе крупных зерен глинистых агрегатов приводит к их локальной усадке во время сушки и обжига, появлению трещин внутри каждого зерна и их отрыву от поверхности зерен отощителя, что в конечном счете обусловливает повышенную водо- и газопроницаемость изделий, несмотря на их высокую весовую плотность (объемный вес).

В производстве кислотоупорных изделий глину, поступающую со склада с влажностью 17—20%, измельчают в стругачах, если она не содержит каменистых включений, либо в дезинтеграторных вальцах до кусков величиной 30—40 *мм* и направляют для сушки в прямоточные сушильные барабаны. Сушат глину в них дымовыми топочными или отходящими от вращающихся шамотообжигательных печей газами с температурой на входе в барабан 700—800° С. Остаточная влажность высушенной глины составляет 8—10%.

Размалывают глину в корзинчатых дезинтеграторах, работающих по замкнутому циклу с ситами-бурат.

Шамот кислотоупорные заводы готовят сами путем обжига глины в шахтных или вращающихся печах. Дробят шамот в щековых дробилках, а размалывают в шаровых мельницах.

3. Подготовка керамической массы

Подготовка массы заключается в смешении глины с добавками и получении из этой смеси в зависимости от способа формования однородного пластичного теста с хорошими формовочными и сушильными свойствами, прессового порошка требуемой влажности и гранулометрии либо шликера с заданными литейными свойствами.

Составы масс различаются в зависимости от вида кислотоупорных изделий, для которых они предназначены. Кислотоупорный кирпич изготавливают из смеси огнеупорной или тугоплавкой спекающихся глин и обожженного из нее шамота. Количество шамота в смеси существенно влияет на качество готового кирпича: с увеличением его содержания улучшается технологичность массы — снижается ее усадка, но вместе с тем возрастает водопоглощение, понижаются прочность и кислотоупорность изделий (рис. 149). Поэтому в массу можно добавлять не свыше 40% шамота.

На свойства изделий влияет не только количество шамота, но и тонкость его помола: с уменьшением максимального размера зерен и увеличением количества мелких зерен с размерами менее 0,5 *мм* увеличиваются прочность и плотность изделий. Это обусловливает необходимость содержания в шамоте от 50 до 75% мелких зерен. Для кислотоупорного кирпича, формуемого способом полусухого прессования, оптимальным содержанием

Таблица 33

Составы масс для химической аппаратуры

Компоненты	Содержание компонентов в массах в % для								
	кирпича	плиток		колец Рашига		сосудов	насосов, эксгаустеров	теплообменников	колонн, реакторов
		К	ТК	керамических	фарфоровых				
Глина:									
часов-ярская	60	48	42	—	15	40	30	45	38
артемовская	—	—	—	85—72	—	—	—	—	—
Шамот	40	40	40	15—28	—	35	—	10	50
Тальк	—	12	8	—	—	—	10	—	—
Каолин	—	—	10	—	30	11	—	—	—
Кварцевый песок	—	—	—	—	23	—	—	—	—
Пегматит	—	—	—	—	32	14	10	15	—
Электрокорунд	—	—	—	—	—	—	30	—	—
Пирофиллит	—	—	—	—	—	—	20	—	—
Карборунд	—	—	—	—	—	—	—	30	—
Дунит	—	—	—	—	—	—	—	—	12

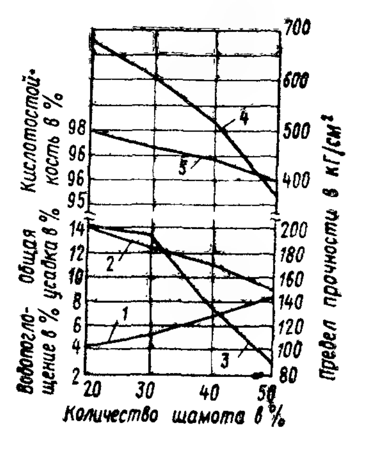


Рис. 149. Влияние количества шамота на свойства кислотоупорных изделий

1 — водопоглощение; *2* — усадка; *3* — предел прочности при изгибе; *4* — предел прочности при сжатии; *5* — кислотостойкость

шамота является 30%; с повышением количества шамота водопоглощение кирпича растет, а его прочность и плотность снижаются.

Массы для изготовления сосудов химической аппаратуры должны иметь интервал спекания не менее 100°. Некоторые составы масс для различных видов кислотоупорных изделий приведены в табл. 33.

Грубозернистые массы для пластического формования готовят по следующей схеме: бункера порошкообразных компонентов → тарельчатые питатели → двухвальная глиномялка сухого смешения → двухвальная глиномялка мокрого смешения.

Тонкозернистые массы для пластического формования смешивают в z-образных мешалках периодического действия. Дозированные порции компонентов смешивают сначала в сухом состоянии, а затем увлажняют и продолжают перемешивание, общая длительность которого составляет 20—40 *мин*.

Тонкозернистые массы для пластического формования химической аппаратуры и фарфоровых изделий приготовляют шликерным способом, который обеспечивает наиболее высокую однородность тонкозернистой массы. Шликер готовят мокрым помолом компонентов в шаровой мельнице, загружая их в несколько приемов. Шликер размалывают до остатка на сите 015 не более 3%, пропускают через электромагнит и сито с размером отверстий 0,1—0,2 *мм* и сливают в бассейны. Обезвоживают шликер в фильтр-прессах. Фильтр-прессные коржи с влажностью 20—24% пропускают через шнековые пресса с дырчатой плитой вместо мундштука, полученные жгуты вылеживают в течение 2—3 суток. Из приготовленной таким образом пластичной массы формуют изделия или заготовки (пласты) для последующего формования изделий в гипсовых формах.

При формовании изделий литьем литейный шликер готовят аналогично, но с добавкой разжижающих электролитов. Жесткость воды при приготовлении литейных шликеров не должна превышать 5°. Влажность шликера составляет 31—34%, текучесть 20—30 *сек*, коэффициент загустеваемости 1,7—2,5, удельный вес 1,7—1,73 *г/см³*, остаток на сите 006 — от 10 до 12%.

Для прессования изделий полусухим способом наилучшее качество массы получается при подготовке ее в смесительных бегунах со шликерным увлажнением шамота. При этом в смесительные бегуны периодического действия сначала загружают дозированную порцию шамота, заливают ее шликером с удельным весом примерно 1,2 *г/см³* и перемешивают в течение 1—2 *мин*. Затем добавляют необходимое количество глиняного порошка и перемешивают еще 3—5 *мин*. Полученную смесь пропускают через растирочное сито, разрыхляющее крупные комья в порошок. Это сито является одновременно питателем пресса.

Для масс с содержанием 30% шамота оптимальной влажностью порошка является 11%, а с большим содержанием шамота — 9%. В последнем случае с повышением влажности плотность обожженного кирпича понижается.

4. Формование изделий

Большое разнообразие форм и размеров кислотоупорных изделий обусловило использование для их производства почти всех известных видов формования керамических изделий: ленточного на вакуум-прессах, лепки и точения из пластичных масс, полусухого прессования и литья.

Пластическим формованием на ленточных вакуумных прессах изготовляют кирпич и плитки с последующей допрессовкой их на допрессовочных прессах. При этом ленточный и допрессовочный пресса, как это сделано, например, на Кудиновском заводе, компонуются в одну автоматическую линию, в которой заготовки от ленточного пресса в допрессовочный передаются автоматически. Заготовки (валюшки), изготовленные на ленточном вакуум-прессе, используют также для формования на фрикци-

онных прессах небольших кюветов, плит для сцеживания и капселей.

На ленточных вакуум-прессах формуются кольца Рашига. Формуют их в несколько потоков, количество их зависит от диаметра колец: кольца диаметром 150 и 120 *мм* формуются в один поток, диаметром 100 *мм* — в два потока, диаметром 80 *мм* — в три потока и диаметром 50 и 25 *мм* — в 5 потоков. Производительность пресса при формовании колец диаметром 80—150 *мм* составляет 15—20 *т/смену*, а диаметром 25 и 50 *мм* — от 10 до 17 *т/смену*.

Кислотоупорные трубы и цилиндрические части аппаратуры формуют на вертикальных шнековых (трубных) вакуум-прессах.

В гипсовых формах из заготовок (пластов), изготовленных на ленточных вакуум-прессах, формуют детали башен, сосуды, баллоны, прямоугольные ванны. Для изготовления пластов сначала на ленточном прессе формуют полый цилиндр и разрезают его вдоль. Затем его на столе разворачивают и раскраивают на отдельные заготовки требуемого размера, из которых в гипсовых формах вручную формуют изделия.

Обточкой на шпиндельных станках формуют раструбы и конические фланцы кислотоупорных труб, фарфоровые крестовины и тройники.

Способом полусухого прессования из порошкообразных масс изготовляют кислотоупорный кирпич, который, однако, обладает повышенной проницаемостью по сравнению с кирпичом пластического формования. Прессовое давление при содержании шамота 30% должно составлять 175 *кГ/см*^{2}. С повышением содержания шамота в массе необходимо увеличивать прессовое давление, что связано с опасностью появления в кирпиче трещин расслаивания, в особенности при значительном содержании в шамоте пылевидной фракции (с размером зерен менее 0,2 *мм*). Для прессования кислотоупорного кирпича применяют прессы СМ-143 и СМ-301. Однако последними работами НИИСтройкерамики установлено, что наилучшее качество (в отношении газопроницаемости) имеет кислотоупорный кирпич, спрессованный на прессе ССМ-583.

Литьем в гипсовые формы изготовляют изделия сложной конфигурации и небольшие сосуды. В зависимости от сложности конфигурации изделия его иногда отливают отдельными частями, которые затем склеивают шликером, выдержанным в течение 20—30 суток. Затем склеенные изделия в специальных приспособлениях выдерживают 16—20 *ч* для достижения необходимой плотности.

5. Сушка изделий

Кислотоупорный кирпич и плитки, а также кольца Рашига сушат на полочных монорельсовых вагонетках в противоточных туннельных сушилках с зонной рециркуляцией. Начальная температура теплоносителя составляет 120—140° С. Длительность сушки кирпича и плиток 48 *ч*, колец Рашига 16 *ч*, а остаточная влажность изделий соответственно 4—5 и 2—3%. Кирпич полусухого прессования сушат в туннельных сушилках на печных вагонетках в течение 36 *ч* от начальной влажности 8—9% до остаточной 3—5%.

Изделия химической аппаратуры сушат в цеховых помещениях на поддонах или в камерных сушилках периодического действия. При сушке в помещениях цеха в них поддерживается температура 25—35° С. Для обеспечения равномерной сушки и предотвращения появления трещин на сосудах на их борта надевают гипсовые накладки (бомзы) и, кроме того, в начальный период сушки укрывают бумагой и в таком состоянии выдерживают до достижения влажности 12—14%. После этого изделия снимают с поддона, переворачивают вверх дном и досушивают в перевернутом состоянии до влажности, равной примерно 3%. Срок сушки изделий весом 25—30 *кг* в цеховых помещениях составляет 12—15 суток, а весом 300—1000 *кг* — 25—35 суток и более.

Для ускорения последней стадии сушки изделия иногда обогревают снаружи лампами инфракрасного излучения. Однако более эффективным явился бы обогрев их изнутри, при котором совпадают направления тепло- и влагопереноса в теле изделия. Подобный принцип успешно применяется при сушке крупногабаритных изоляторов и стекловаренных горшков.

Трубы диаметром 50—100 *мм* сушат на шамотных подставках в горизонтальном положении, а более крупных диаметров — в вертикальном с последующей досушкой в туннельных или камерных сушилках в течение 70—75 *ч*. Сушильные камеры Гипростройматериалов для кислотоупорных изделий имеют длину 6 и ширину 3,6 *м*. Фарфоровые трубы в них сушат в течение 24 *ч* на гипсовых поддонах, устанавливаемых на полках в несколько рядов по высоте камеры.

6. Глазурование изделий

Кислотоупорные изделия во избежание проникания через них жидкостей и газов покрывают глазурью. Кроме того, глазурь предохраняет жидкости, хранящиеся или обрабатываемые в аппаратах, от загрязнения окислами, которые могут выщелачиваться из керамического черепка.

Для кислотоупорных изделий используют сырые земляные глазури, основным компонентом которых является легкоплавкая глина. Специфическим требованием, предъявляемым к глазурованным кислотоупорным изделиям, является их химическая стойкость по отношению к агрессивным средам, воздействующим на изделие. Химическая стойкость глазури зависит от ее состава:

Таблица 34

Состав глазурей для кислотоупорных изделий

Глазурь	Содержание в молекулярных %														$K_{тр}\cdot 10^{-6}$
	SiO_2	TiO_2	ZrO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	Cr_2O_3	CaO	MgO	BaO	MnO	CaF_2	K_2O	Na_2O	
Для аппаратуры:															
керамической . . .	66,1	—	—	3,6	10,1	1,2	—	15,4	0,7	—	—	—	0,7	0,2	5
фарфоровой:															
белой	79	0,5	—	—	8,5	2,8	—	2,9	1,1	—	—	—	2	3,2	4,58
коричневой . . .	69,6	0,6	—	—	11,2	1	1,2	6,6	3	—	1,1	—	2,5	3	5,94
кордиеритовой . .	72,2	—	—	—	10,2	2,4	—	7,3	4,6	0,9	—	—	1,5	0,9	4,46
Для футеровочных плиток	73,6	0,2	0,6	—	10	0,3	—	7,8	2,5	1,8	—	—	1,6	1,6	4,86

содержание окиси алюминия в глазури должно быть примерно 0,3 моля. Окись кальция понижает химическую стойкость глазури, а небольшое количество борного ангидрида повышает. При увеличении количества борного ангидрида с 2 до 8% химическая устойчивость глазури понижается.

В аккумуляторных баках глазурь под влиянием постоянного электрического тока постепенно разрушается вследствие электролиза. Такая глазурь должна содержать щелочных окислов около 1—1,5%. Состав глазурей для некоторых видов кислотоупорных изделий приведен в табл. 34.

Влажность глазури находится в пределах 40—52%, плотность ее для керамических изделий 1,35—1,42, а для фарфоровых — 1,47—1,48 *г/см³*, толщина глазурного покрова составляет 0,2—0,4 *мм*.

Глазурь должна обладать достаточной термической стойкостью и не давать «цека», так как даже через волосные трещины агрессивные жидкости будут проникать в черепок и разрушать его.

Глазуруют только высушенные изделия, очищая их от жировых пятен и пыли, которые препятствуют сцеплению глазури с черепком. Изделия небольшого размера глазуруют погружением на несколько секунд в бак с глазурью, крупноразмерные изделия — пульверизацией или поливом, а на отдельные труднодоступные места наносят глазурь малярной кистью. После глазурования изделия просушивают в помещении цеха.

7. Обжиг изделий

Режим обжига кислотоупорных изделий имеет некоторые специфические особенности. Изделия должны поступать в обжиг с влажностью не выше 2—3% во избежание разрушения их избыточным давлением водяных паров, образующихся внутри черепка в начальной стадии его нагрева. Переход обжигаемой массы в пиропластическое состояние, сопровождающийся спеканием, а следовательно, усадкой и уплотнением черепка, заканчивается для керамических изделий при температурах 1180—1280, а для фарфоровых при 1320—1410° С. Величина усадки кислотоупорных керамических масс довольно значительная 4—6%, что обусловливает необходимость нагрева изделий в период интенсивной усадки со скоростью 10—30 *град/ч*; это устраняет деформацию и трещины, характерные для обжигаемого изделия в этот период вследствие объемных изменений.

Продолжительность выдержки («температурной площадки») при конечной температуре обжига может быть небольшой для масс с интервалом спекшегося состояния более 80° и должна быть растянутой, если интервал спекшегося состояния массы менее 80°. В последнем случае, кроме того, во избежание дефор-

мации изделий конечную температуру обжига следует снижать примерно на 20°, достигая необходимую степень созревания керамического черепка растянутой «температурной площадкой» при конечной температуре обжига. Снижение конечной температуры обжига в сочетании с растянутой выдержкой при ней необходимо рекомендовать также при обжиге крупногабаритных изделий.

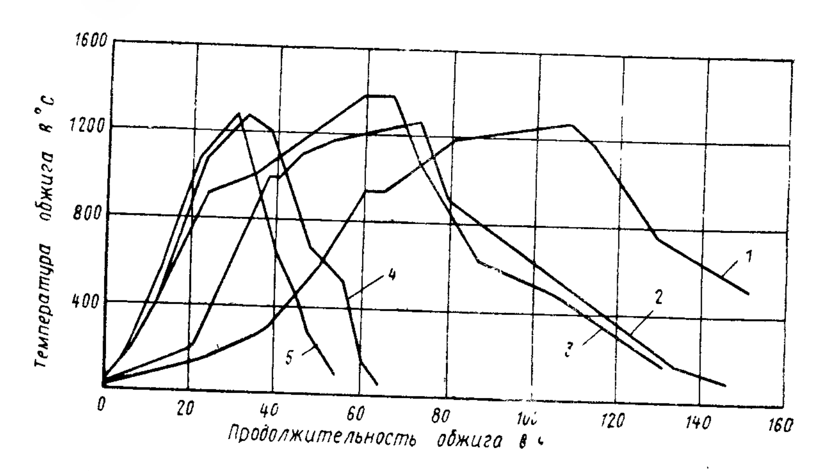


Рис. 150. Примерные кривые обжига кислотоупорных изделий

1 — при комбинированной садке с изделиями крупной химической аппаратуры; *2* — изделия из дунитовой массы; *3* — фарфоровая химическая аппаратура емкостью до 100 *л*; *4* — кирпич в туннельной печи; *5* — плитки в туннельной печи

Фарфоровые изделия в интервале температур 900—1200° С необходимо обжигать в течение 3—5 *ч* в восстановительной среде, обеспечивающей перевод железистых окислов из окисного состояния в закисное и предотвращающей появление желтизны на фарфоровом черепке. При температурах выше 1200—1250° С обжиг фарфора ведут в нейтральной или слабоокислительной среде со скоростью подъема температуры 50—80 *град/ч* и выдержкой в течение 2—3 *ч* при конечной температуре обжига.

Охлаждение изделий в интервале от конечной температуры обжига до температуры отвердевания черепка (700—800° С) можно вести со скоростью 80—100 *град/ч*. В интервале температур от 700—800 до 450—400 *град/ч* скорость охлаждения должна быть резко снижена до 10—25 *град/ч*, во избежание растрескивания изделий вследствие объемных изменений кварца при его модификационных превращениях. От температур 400—450° С до конечной, составляющей 40—50° С, охлаждение ведут со скоростью 40—60 *град/ч*.

Крупногабаритную химическую аппаратуру обжигают в печах периодического действия, а кирпич, плитки, кольца Рашига

и мелкую аппаратуру — в туннельных печах. В этих печах обжигают почти 70% всех кислотоупорных изделий, вырабатываемых в Советском Союзе.

Садку в периодической печи средней и крупной химической аппаратуры (весом 300—1000 *кг*) ведут с подсадкой 5—6 рядов кирпича, на которые укладывают плиты и насыпают толстый слой песка. Для очень крупных изделий на слой песка укладывают раскатанные жгуты массы, амортизирующие удары при установке изделий и обеспечивающие строго вертикальное их положение. Верхние борта изделий укрывают асбестовым картоном.

Плотность садки в печах периодического действия составляет:

кирпича, плиток и мелкой аппаратуры	0,6 *т/м³*
кирпича, плиток и крупной аппаратуры	0,45 *т/м³*
насадочных колец	0,35—0,4 *т/м³*

Для обжига кислотоупорных изделий используют туннельные печи Гипростройматериалов, длиной 113 *м*, Южгипроцемента, длиной 110 *м*, а на одном заводе — печь Укрпромпроекта, длиной 102 и сечением 3×1,7 *м*. Режимы обжига для изделий и печей различных типов приведены на рис. 150.

8. Механическая обработка изделий

Детали химической аппаратуры, требующие большой точности геометрической формы и размеров, а также большой чистоты поверхности, обеспечивающей плотное их примыкание при сборке, подвергают механической обработке шлифованием, точением или притиркой. Поступающие на механическую обработку керамические детали должны быть без трещин, иметь минимальные допуски, однородное строение, требуемую механическую прочность, конфигурацию, обеспечивающую их надежное крепление в обрабатывающем станке и необходимую технологичность для механической обработки.

Шлифованием обрабатывают трубы и фасонные части к ним, детали вентилей, торцы царг, колонн и др. Для шлифования используют абразивные шлифовальные круги, основными техническими показателями которых являются: материал абразивных зерен, их величина (зернистость), вид связки, твердость, структура, форма и размеры.

Применяют карборундовые круги КЗ (карбид зеленый), хотя наиболее перспективным является алмаз, который пока еще дефицитен.

Зернистость абразивного материала характеризует «крупность» его зерна и в соответствии с ГОСТ 3647—59 выражена 26 номерами. Номер зерна соответствует его размеру в 0,01 *мм*. Для черновой обработки керамических деталей применяют круп-

нозернистые, а при чистовой шлифовке и малых поверхностях контакта детали — мелкозернистые камни. Абразивные круги делают на керамической связке.

Твердость шлифовального круга характеризует способность зерен сопротивляться их вырыванию из массы в процессе шлифования. Классификация абразивных кругов по твердости приведена в табл. 35.

Таблица 35

Классификация абразивных кругов

Класс твердости	Индекс класса твердости	Обозначение классов твердости
Мягкий	М	М1, М2, М3
Среднемягкий	СМ	СМ1, СМ2
Средний	С	С1, С2
Среднетвердый	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердый	Т	Т1, Т2
Весьма твердый	ВТ	ВТ1, ВТ2
Чрезвычайно твердый	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2

Для обработки керамических деталей применяют сравнительно мягкие круги классов М, СМ, С и СТ.

Структура абразивного камня характеризует количественное соотношение в единице его объема зерен, связки и пор. Абразивные круги имеют 12 номеров структур, из которых номера 1—3 составляют группу плотную, номера 4—6 — среднеплотную и номера 7—12 — открытую. Для обработки керамики применяют камни среднеплотной структуры.

Шлифовальные круги необходимо периодически править алмазами. Периодичность правки от 3—7 *ч* до 30—40 *мин* в зависимости от вида шлифования и характеристики обрабатываемой детали.

Для шлифования керамических деталей используют токарно-винторезные и карусельно-шлифовальные станки, применяемые в металлообрабатывающей промышленности. Их снабжают оснасткой, позволяющей обрабатывать на них керамические детали различной конфигурации.

Наружное круглое шлифование длинных деталей, шпинделей запорных вентилей, защитных втулок вала насосов, мешалок и других деталей производят вращением круга и детали в одну сторону с продольной и поперечной (на врезание) подачей обрабатываемой детали. Режимы шлифования приведены в табл. 36.

При шлифовании необходимо охлаждение или специальной жидкостью (1—2%-ный раствор Na_2CO_3) или обильное охлаждение проточной водой. Для этого вида шлифования используют круги КЗ твердостью СТ, С, СМ и М, зернистостью 40—50 на керамической связке.

Жесткие, прочные и относительно короткие детали (мешалки, нажимные втулки, фильтрующие трубы) обрабатывают глубинным шлифованием, при котором подача осуществляется шлифо-

Таблица 36

Режимы шлифования

Показатели	При обработке	
	черновой	чистовой
Скорость вращения: круга в *м/сек*	30—35	30—35
детали в *м/мин*	20—50	15—30
Продольная подача в *мм* за 1 оборот обрабатываемой детали	10—15	5—10
Глубина резания в *мм* в конце каждого двойного хода детали	0,1—0,2	0,02—0,05

вальным кругом. Скорость вращений круга и детали та же, что и при наружном круглом шлифовании, продольная подача 0,1—0,4 *мм* за 1 оборот, глубина резания 1—3 *мм* за 1 двойной ход. Детали большого диаметра и небольшой длины и фасонные поверхности шлифуют с поперечной подачей круга.

Внутреннее круглое шлифование поверхностей деталей химической аппаратуры достигается вращением детали и находящегося в ней круга в противоположные стороны. Диаметр круга составляет 0,7—0,9 внутреннего диаметра детали. Продольная подача и глубина резания при внутреннем шлифовании примерно в 2 раза меньше, чем при наружном.

Плоское шлифование можно осуществлять на плоско-шлифовальных и карусельно-шлифовальных станках периферией и торцом круга. Детали крупногабаритной химической аппаратуры обрабатывают на карусельно-шлифовальных станках. Глубина шлифования достигает 4—5 *мм*, подача — 0,1—0,5 *мм* за 1 оборот план-шайбы, скорость вращения круга 30—35 *м/сек*, а детали 35—60 *м/мин*. Камни применяют с твердостью СМ и М, зернистостью 50 и 63 для черновой и 16—40 для чистовой обработки. Связка может быть керамическая и бакелитовая.

При шлифовании без орошения станки должны оборудоваться надежной аспирацией для удаления выделяющейся пыли, шлифовальные круги — иметь ограждения, шлифовальные камни и планшайбы — вращаться в направлении от рабочего во избежание несчастного случая при возможном разрыве камня. Керамические детали нельзя закреплять в патрон без мягких прокладок.

Токарную обработку (точение) керамических деталей производят резцами ВК2 и ВК3 на станках, применяемых для аналогичной цели в металлообрабатывающей промышленности. Токарная обработка керамики обеспечивает чистоту поверхности не выше 3-го класса. Скорость резания при наружном точении 4—8 *м/мин*, продольная подача за 1 оборот при черновой обработке 0,55—0,65 и при чистовой обработке 0,2—0,4 *мм*, глубина резания соответственно 1—1,5 и 0,5 *мм*. Резьбу на керамических

изделиях нужно стремиться нарезать алмазными шлифовальными кругами.

Для получения поверхности с повышенным классом чистоты и точности применяют **притирку.** Она обеспечивает получение 11—14-го класса чистоты и 1-го класса точности обработки. Притирку применяют при сборке запорных кранов и вентилей, труб, фитингов и некоторых аппаратов. Перед притиркой поверхности детали должны быть точно взаимно подогнаны и обработаны по 7—9-му классу чистоты. Механическую притирку производят на вертикальных фрикционных станках.

§ 4. ПОРОКИ ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИХ ИЗДЕЛИЙ

Кислотоупорным изделиям свойственны все виды пороков, возникающих в керамических изделиях соответственно способам их формования, сушки и обжига. Специфическими пороками в производстве химически стойких изделий являются следующие.

Отклонения от заданных размеров вследствие применения недожженного шамота либо нарушения состава массы. Неправильные размеры сырца вследствие износа форм допрессовочных прессов, нарушения размеров заготовок, неправильной установки штампов пресса. Трещины по месту соединения пластов вследствие недостаточно тщательного их соединения, а также попадания пыли и маслянистой жидкости в места соединения. Трещины в сушке от неправильной установки изделий на подставки или рамки. Трещины при сушке изделий, сформованных литьем, вследствие несвоевременной зачистки швов и заусенцев. Пузыри на поверхности высушенных изделий при чрезмерно быстрой их сушке. Недожог изделий, характеризующийся повышенным водопоглощением и пониженной прочностью черепка. Деформация изделий вследствие их повышенной влажности при загрузке в печь, а также при установке их на невыровненный под печи или вагонетки.

§ 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Производство кислотостойких изделий в нашей стране составило в 1965 г. 360 тыс. *т* и к 1970 г. должно возрасти до 1 млн. *т* [127]. Средняя выработка на 1 рабочего в год составляет 105 *т*, расход условного топлива 250 *кг/т*, расход электроэнергии 86 *квт·ч*. Съем с 1 $м^3$ печи в месяц 6 *т*.

Часть четвертая

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ТОНКОЙ КЕРАМИКИ

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТОК

Глазурованные керамические плитки являются в настоящее время наиболее распространенными изделиями для внутренней облицовки стен кухонь, санитарных узлов, торговых и производственных помещений, а также пищевых и других предприятий с повышенными требованиями к санитарно-гигиеническим условиям. Их производство составило в 1965 г. 13 млн. $м^2$ и к 1970 г. должно возрасти до 20,3 млн. $м^2$.

§ 1. НОМЕНКЛАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

По виду лицевой поверхности различают плитки белые и цветные, одноцветные и многоцветные (с рисунком), с гладкой и рифленой поверхностью. Размеры и форма их, регламентированные ГОСТ 6141—63, приведены в табл. 37.

Таблица 37

Размеры облицовочных плиток (в *мм*)

Форма плиток	Длина	Ширина	Толщина
Квадратные:			
без завала	100±1,5 150±1,5	100±1,5 150±1,5	4,5—6±0,5 4,5—6±0,5
с завалом одной стороны	100±1,5 150±1,5	100±1,5 150±1,5	4,5—6±0,5 4,5 -6±0,5
Прямоугольные:			
без завала	150±1,5 150±1,5	75±1,5 100±1,5	4,5 -6±0,5 4,5—6±0,5
с завалом одной стороны	150±1,5 150±1,5	75±1,5 100±1,5	4,5—6±0,5 4,5—6±0,5

В Советском Союзе в основном выпускаются облицовочные плитки белые, квадратные с гладкой поверхностью, размерами 150×150×4,5 *мм*. В небольшом количестве выпускаются цветные плитки. Прямоугольные плитки специально не прессуются, их получают, разрезая обожженные квадратные плитки, имеющие какой-либо дефект. Кроме квадратных и прямоугольных плиток заводы вырабатывают и поставляют в определенном проценте комплектующие детали для получения завершенной облицовки помещения: внутренние и наружные уголки, пояски, карнизы и др. Производство плиток с рисунком на белом фоне, а также с орнаментированной лицевой поверхностью было освоено некоторыми заводами, но широким спросом эти изделия не пользовались и выпуск их в настоящее время прекращен. К тому же рельефная лицевая поверхность ухудшает гигиенические свойства плиток.

ГОСТ 6141—63 устанавливает деление плиток по их качеству на 1-й, 2-й и 3-й сорт. Для всех сортов не допускаются цек и трещины, а для первого сорта — отбитости углов, наплывы, волнистость (рябизна), вскипание, сухость и окрашенные пятна глазури, щербины на кромках глазурованной поверхности, плешины, слипыш. Для 2-го и 3-го сортов эти пороки нормируются в определенных пределах. Для всех сортов нормируются также наколы, мушки, следы гребенок и искривления. Разнотолщинность и косоугольность плиток не должны превышать 0,5 *мм*, тыльная сторона их должна иметь четкий рельеф высотой не менее 0,3 *мм*. Водопоглощение плиток допускается не более 16%. Плитки должны быть термически стойкими, выдерживая без признаков повреждений охлаждение в воде с температурой 18—20° С после медленного нагрева в воздушной бане до 100° С.

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

По типу керамического черепка облицовочные глазурованные плитки относятся к изделиям с фаянсовым черепком. Поэтому основным сырьем для их производства являются беложгущиеся огнеупорные глины, каолин и кварцевый песок. Все три основных компонента должны содержать возможно малое количество красящих окислов — не более 1,5—2%. В качестве добавок применяют череп (бой готовых изделий), бентонит для повышения прочности спрессованных изделий, тальк для улучшения их термических свойств при обжиге; для этой же цели в массу частично вводят предварительно обожженный каолин с водопоглощением не более 16%.

Шихтовый состав плиточной массы Кучинского керамического комбината (в %) таков: глина веселовская 28%, песок кварцевый 16—23, каолин сырой 20, каолин жженый 16—23 и череп 10. Сверх 100% вводят от 2 до 4% бентонитовой глины.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

1. Основные операции технологического процесса

Основными технологическими операциями при производстве облицовочных плиток являются: подготовка сырых материалов, подготовка шликера, обезвоживание шликера и подготовка из него пресспорошка, прессование плиток, их сушка, глазурование и обжиг.

2. Подготовка сырьевых материалов

Глина, каолин и кварцевый песок, как правило, поступают на завод в железнодорожных вагонах, которые разгружаются на складе сырья, имеющем отдельные отсеки для каждого вида сырья, а на хорошо организованных складах — отдельные отсеки для каждой его партии, с тем чтобы сырье не смешивалось с предыдущими партиями и поступало в производство только после приемочного контроля заводской лабораторией. Со склада глину и каолин обычно грейферным краном подают в стругачи, которые измельчают их до величины кусков 50—100 *мм*, после чего они попадают в расходные бункера. Кварцевый песок со склада подают в расходные бункера, по пути подвергая его магнитной очистке от металлических предметов. Череп после сортировки и магнитной очистки на транспортной ленте измельчают в бегунах периодического действия с гранитными катками, затем просевают на грохоте с ячейками 8×8 *мм* и направляют в расходные бункера; при этом он подвергается магнитной очистке. Жженый каолин дробят в щековой дробилке, размалывают в бегунах периодического действия до величины кусков не более 10 *мм*, просеивают на грохоте с величиной отверстий 8×8 *мм*, подвергают магнитной очистке и направляют в расходные бункера.

3. Подготовка шликера и пресспорошка

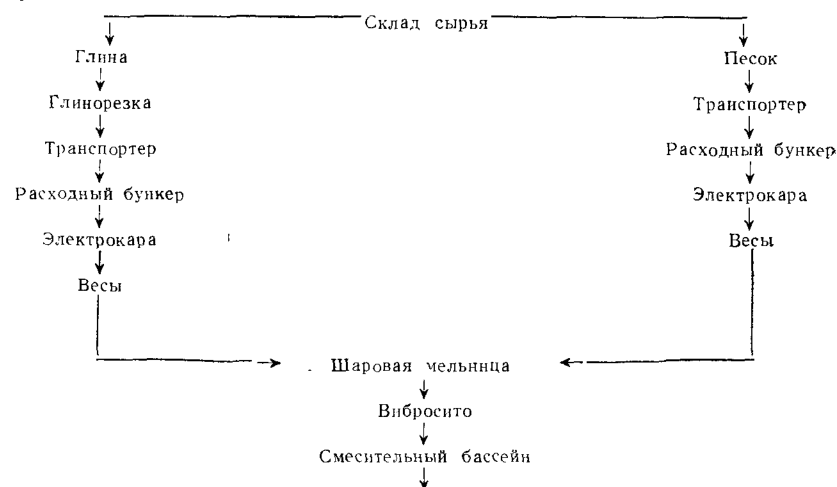
Необходимое количество сырьевых материалов, рассчитанное по рецепту и дозированное бункер-весами, установленными на электрокаре, подают в шаровую мельницу мокрого помола периодического действия с уралитовыми шарами или кремневыми мелющими телами; соотношение шаров и материала 1 : 1,25. Мельницу загружают и шликер размалывают в два приема: при первой загрузке в мельницу подают отощающие материалы, воду и бентонит и размалывают их в течение 3—3,5 *ч*, затем загружают глину, сырой каолин и электролиты и продолжают помол еще в течение 1 *ч*. О готовности шликера судят по остатку на сите с 10 000 *отв/см*², который

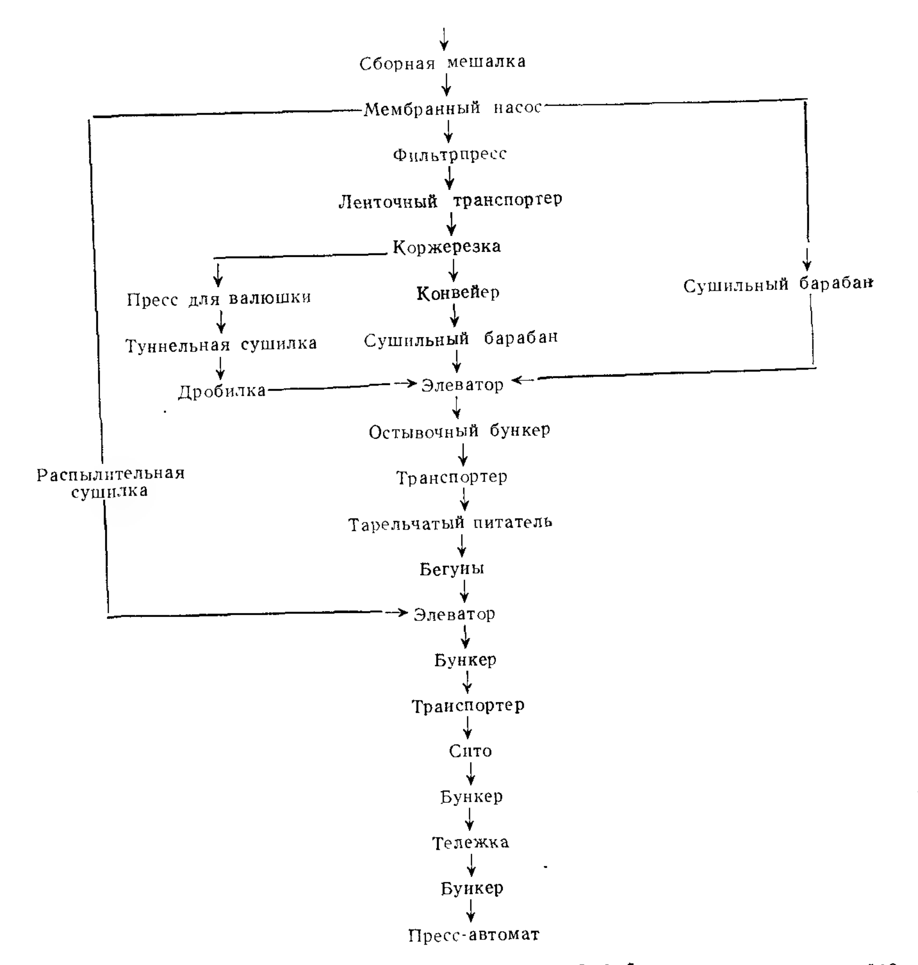
после первой стадии помола должен быть не более 10—12 и после второй — не более 5—6%. Готовый шликер через вибросито с 400 *отв/см²* сливают в приемный бассейн, а из него перекачивают в расходные бассейны. При этом шликер пропускают через сито с 900 *отв/см²* и очищают на магнитной плите, установленной в сливном лотке.

Характерной особенностью описанного способа приготовления шликера является совместный помол отощающих и пластичных материалов.

Некоторые плиточные заводы с целью увеличения производительности мельниц готовят шликер по способу раздельного помола: размалывают только отощающие вещества с очень малой добавкой глинистых, предотвращающих оседание твердого материала в шликере, основную же часть пластичных материалов распускают с водой в мешалках. Шликер из шаровых мельниц и мешалок направляют в смесительные бассейны, а из них — в расходные, подвергая во время слива ситовой и магнитной очистке, как и в предыдущем случае.

Еще несколько лет назад все плиточные заводы готовили пресспорошок, подвергая обезвоживанию шликер в фильтрпрессах, высушивая коржи в туннельных или барабанных сушилках и размалывая их на бегунах или центробежных мельницах. Затем некоторые заводы отказались от фильтр-прессного процесса, подвергая сушке шликер непосредственно в сушильных барабанах и размалывая высушенный материал в тех же мельницах. Этот способ явился по существу переходным и удержался всего 2—3 года. В настоящее время большинство плиточных заводов обезвоживание шликера осуществляют в распылительных сушилках. Технологическая схема подготовки пресспорошка при различных способах обезвоживания шликера приведена ниже.





По расчетам НИИСтройкерамики [129], эксплуатационные затраты на 1 *т* порошка составляют:

при фильтр-прессном методе	5 р. 91 к.
при сушке шликера в сушильном барабане	4 р. 05 к.
то же, в распылительной сушилке .	2 р. 80 к.

4. Прессование плиток

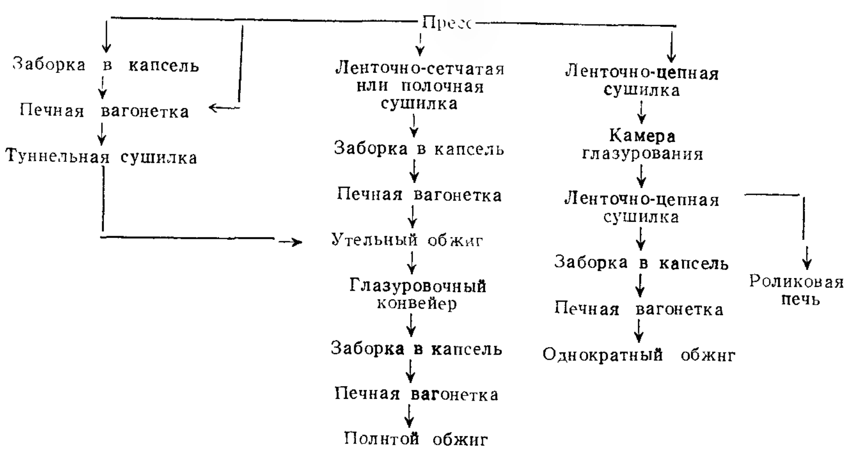
Облицовочные плитки прессуют на прессах «Робот» и К/рк-125 при первичном давлении 20—25 и вторичном 80—90 *кГ/см²*. Размер отпрессованных плиток с учетом усадки 154×154×5(+0,2) *мм*, предел прочности при изгибе должен быть не менее 6 *кГ/см²*.

Отпрессованные плитки поступают на ленточный транспортер очистительной машины, на котором они в вентиляционных

камерах очищаются от пыли, а круглыми волосными щетками с них снимаются заусенцы. Очищенные плитки направляют на сушку.

5. Сушка, глазурование и обжиг плиток

Эти три операции в технологии облицовочных глазурованных плиток взаимосвязаны между собой и комплексно могут осуществляться четырьмя способами, как показано ниже.



Отличительные особенности первого способа следующие: сушка и обжиг на печных вагонетках без промежуточной перекладки плиток; обжиг двукратный. По этому способу отпрессованные плитки укладывают стопками на печную вагонетку или предварительно забирают в капсель и сушат в туннельной сушилке. Затем на этой же, вагонетке, без перекладки, плитки обжигают первый раз (утельный обжиг), после чего сортируют, глазуруют методом полива, забирают в капсель и обжигают вторично (политой обжиг) в другой туннельной печи. Схема укладки плиток в капсель для политого обжига показана на рис. 151. Плитки устанавливаются парами, сомкнутыми тыльной стороной; каждая пара отделена от соседней фаянсовой гребенкой. Температура первого обжига 1240—1250, а второго 1145° С. Длительность обжига соответственно 48 и 34 *ч*. Этот способ широко практикуется на зарубежных, а также на некоторых отечественных заводах. Его преимущество — бесперекладочная технология сушки и обжига, сокращающая трудовые затраты. Недостаток его — длительные сроки сушки и необходимость наличия большого парка дорогостоящих печных вагонеток.

Рис. 151. Схема укладки плиток в капсель для второго (политого) обжига

1 — капсель; *2* — плитки; *3* — гребенки

Второй способ получил наибольшее распространение на отечественных заводах. Его особенности: двукратный обжиг, сушка в полочных сушилках или однорядная сушка в ленточно-сетчатых конвейерных сушилках с последующей заборкой высушенных плиток в капсели для первого обжига. Замена полочных конвейерных сушилок однорядными ленточно-сетчатыми явилась большим шагом вперед в технологии сушки плиток. Она позволила автоматизировать процесс поступления плиток от прессов к сушилкам, исключила ручные операции по перекладке плиток и резко сократила брак на этом этапе (рис. 152). Ленточно-сетчатые сушилки для облицовочных плиток имеют длину 15 и ширину 1,3 *м*. Длительность цикла 9 *мин*, в том числе сушки 6,7 и охлаждения 2,3 *мин*. Скорость движения ленты 0,028 *м/сек*. Расход тепла на 1 *кг* испаренной влаги 1700 *ккал*. Температура на отдельных позициях: *1* — 260, *2* — 220, *3* — 220, *4* — 190 и *5* — 110° С. Давление природного газа 0,25—0,4 *атм*, разряжение у отсасывающего вентилятора 45 *мм вод. ст.* Количество воздуха, подаваемого для охлаждения в одну сушилку,

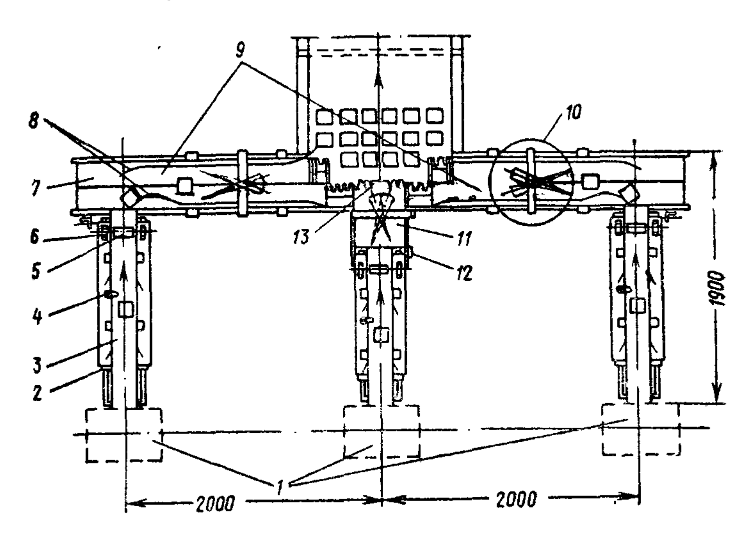


Рис. 152. Схема загрузки плиток от пресса в радиационную сушилку

1 — пресс; *2* — чистильный механизм; *3* — транспортер; *4* — поворотное устройство; *5* — вращающаяся щетка; *6* — конические шестерни; *7* — боковой транспортер; *8* — направляющие; *9* — транспортер разделения; *10* — рамка-делитель; *11* — транспортер; *12* — клиноременная передача; *13* — амортизационный лоток

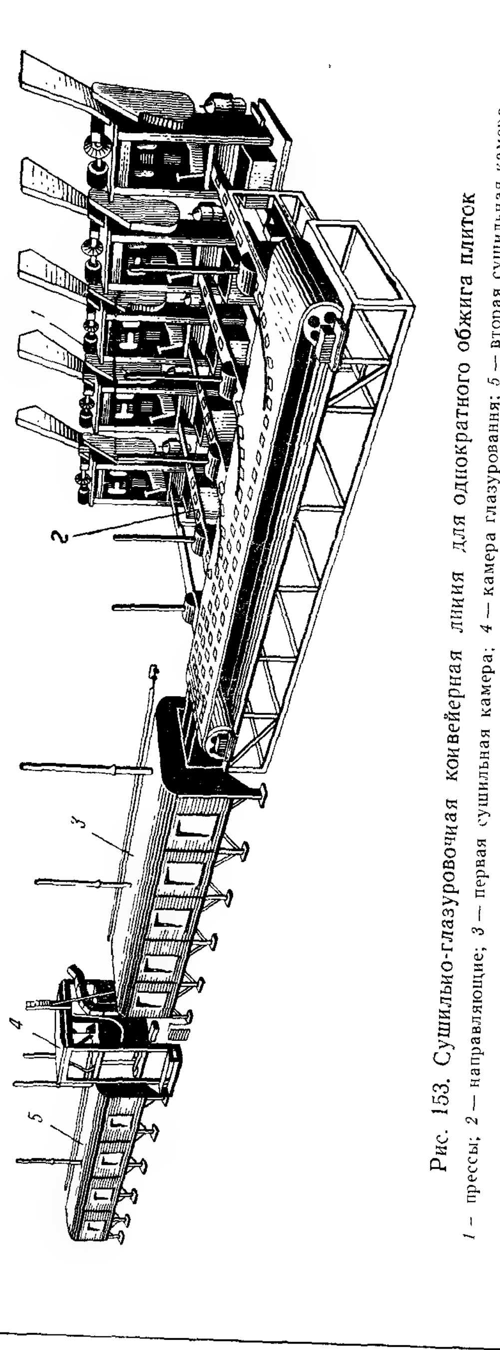


Рис. 153. Сушильно-глазуровочная конвейерная линия для однократного обжига плиток
1 — прессы; 2 — направляющие; 3 — первая сушильная камера; 4 — камера глазурования; 5 — вторая сушильная камера

800 $м^3/ч$, влажность высушенных плиток не выше 1%. Керамические насадки панельных горелок в этих сушилках имеют по 850 отверстий. Раз в месяц их прочищают продувкой сжатым воздухом.

Несмотря на то что замена полочных сушилок ленточно-сетчатыми резко улучшила технико-экономические показатели этого способа, он все же наименее выгоден и наиболее трудоемок вследствие недостатков, присущих двукратному обжигу. Поэтому в последние годы заводы переходят на способ с однократным обжигом плиток. Его отличительные особенности: сушка плиток в ленточно-цепных сушилках, глазурование высушенных плиток с последующей их досушкой, однократный обжиг плиток в капселях. При этом способе отпрессованная плитка автоматически поступает на сушильно-глазурованный конвейер (рис. 153), который предназначен для прессования, предварительной сушки, глазурования и окончательной сушки плиток.

Таблица 38

Состав фритт в %

Компоненты	Фритта № 18	Фритта № 19
Полевой шпат	33,5	—
Песок	16,9	35,8
Мел	2,3	5,1
Каолин	10,6	—
Циркон	13,6	10,5
Углекислый барий	1,5	13,6
Окись цинка	1,7	7,7
Доломит	5,2	8,4
Сода	13,3	11,5
Кремнефтористый натрий	3,4	—
Углекислый стронций	0,04	0,04

Конвейер имеет пять прессов (в том числе один резервный) с регулируемыми направляющими планками, которые распределяют поступающие на транспортер плитки на четыре потока. Длина первой сушилки 9,85 *м*, температура по зонам в ней — 250, 210 и 110° С. Длительность сушки 3 *мин* 20 *сек*. Из этой сушилки плитка с влажностью 3,5% попадает в глазуровочную камеру длиной 2 *м*, которую она проходит примерно за 1 *мин*. В глазуровочной камере последовательно установлено два спаренных качающихся в горизонтальной плоскости пульверизатора с диаметром сопла 3 *мм*, в которые подают сжатый воздух под давлением 2,5—3 *атм*. Ровный слой глазури достигается за 8—9 качаний пульверизатора, причем на проходящие плитки за это время наносится по 10—12 *г* глазури. Глазурь с влажностью 36—37% и плотностью 1,62—1,64 поступает к пульверизаторам из напорного бачка, находящегося над камерой; уровень глазури в нем поддерживается неизменным. Глазурь применяется циркониевая глухая следующего состава (в %): фритта № 13 85; фритта № 19 10 и глина 5. Состав фритт приведен в табл. 38.

При глазуровании влажность плиток увеличивается на 1,5—2% и с влажностью 5—9% они поступают во вторую сушилку

длиной 7,95 *м*, где высушиваются в течение 2 *мин* 40 *сек* до остаточной влажности 2—2,5%. Затем плитки поступают в камеру охлаждения длиной 3,8 *м*, которую проходят за 1 *мин* 20 *сек*, охлаждаясь при этом до 40—60° С. Охлажденные плитки устанавливаются в капсель. При этом пользуются 8-гнездовыми гребенками, помещая в капсель 32 плитки. В капселях сделаны отверстия для лучшего газообмена.

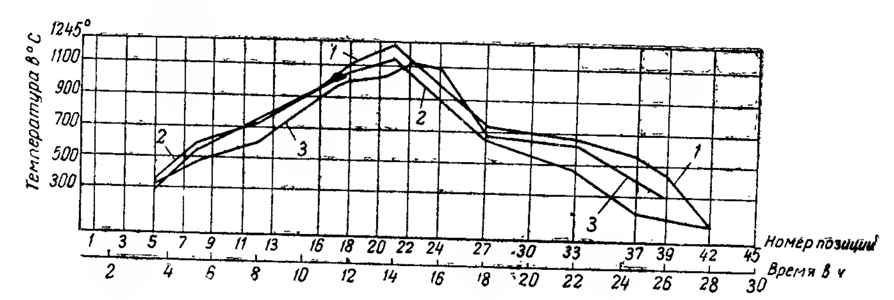


Рис. 154. Температурные режимы обжига облицовочных плиток

1 — первый обжиг; *2* — второй обжиг; *3* — однократный обжиг

Однократный обжиг плиток производится в туннельной печи Гипростройматериалов длиной 88 *м*. Длительность обжига 30 *ч*, максимальная температура 1160—1180° С. При переходе на однократный обжиг в конструкцию печи внесены следующие изменения:

в зоне подогрева на позиции *12* через щели в своде печи подается холодный воздух, который позволяет держать температуру в пределах 600—620° С, что обеспечивает выгорание органических примесей до начала расплавления глазури;

с целью уменьшения перепада температур между верхними и нижними рядами все топки с позиции *12* по позицию *24* сделаны с высотой вылета продуктов горения 200 *мм* (вместо 600 *мм*) при неизменной ширине топки 460 *мм*;

в зоне охлаждения с позиции *26* по позицию *30* в своде в шахматном порядке установлены специальные керамические распылители, обеспечивающие распределенную подачу воздуха в зону охлаждения; это исключило попадание холодного воздуха на плитки и резко уменьшило брак («холодный треск»).

С переходом с двукратного на однократный обжиг в технологию производства плиток были внесены следующие изменения:

уменьшена плотность загрузки капселей на вагонетку (с 95 до 88 капселей) и плиток в капсель (с 40 до 32 шт.);

снижена влажность глазури с 39—40 до 37—38%;

увеличена толщина плиток с 4,5 до 5—5,5 *мм*;

увеличено количество вводимого в массу жженого каолина с 9 до 26%;

Таблица 39

Технико-экономические показатели двух- и однократного обжига облицовочных плиток

Показатели	Двукратный обжиг	Однократный обжиг
Увеличение выпуска продукции с тех же производственных мощностей в %	100	143
Выработка на 1 рабочего в год в $м^2$	1800	3000
Расход условного топлива на сушку и обжиг 1 $м^2$ плиток в *кг*	7,6	6,3
Расход электроэнергии на 1 $м^2$ плитки в *квт·ч*	2	1,53
Длительность производственного цикла в *ч*	88	30
Выход 1-го сорта в %	24	28
Брак суммарный в %	32	21
Себестоимость 1 $м^2$ плитки в руб.	1,95	1,51

прозрачная свинцово-стронциевая глазурь заменена циркониевой;

увеличен расход глазури с 4 до 10 *г* на плитку;

состав массы подобран из расчета, чтобы число пластичности пресс-порошка находилось в пределах 13—14;

вместо 10-гнездовых применены 8-гнездовые гребенки.

Температурные режимы двукратного и однократного обжига плиток приведены на рис. 154.

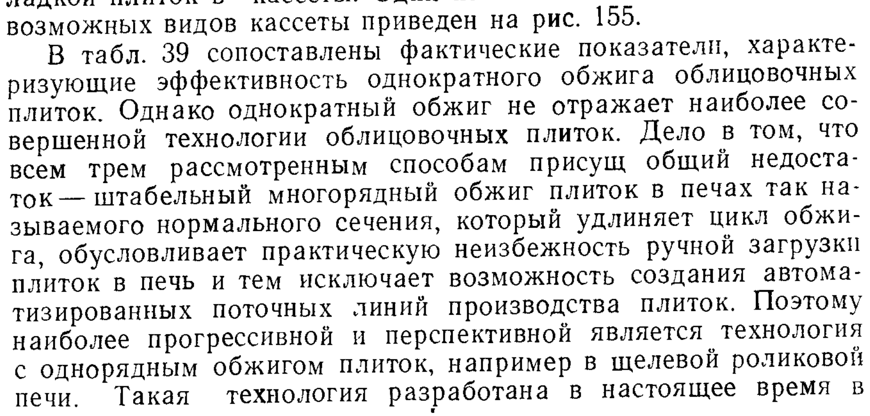


Рис. 155. Кассета для горизонтального обжига плиток

1 — кассета; *2* — плитка

В типовом проекте предусмотрен обжиг плиток в муфельных туннельных печах с горизонтальной укладкой плиток в кассеты. Один из возможных видов кассеты приведен на рис. 155.

В табл. 39 сопоставлены фактические показатели, характеризующие эффективность однократного обжига облицовочных плиток. Однако однократный обжиг не отражает наиболее совершенной технологии облицовочных плиток. Дело в том, что всем трем рассмотренным способам присущ общий недостаток — штабельный многорядный обжиг плиток в печах так называемого нормального сечения, который удлиняет цикл обжига, обусловливает практическую неизбежность ручной загрузки плиток в печь и тем исключает возможность создания автоматизированных поточных линий производства плиток. Поэтому наиболее прогрессивной и перспективной является технология с однорядным обжигом плиток, например в щелевой роликовой печи. Такая технология разработана в настоящее время в

НИИСтройкерамике и по ней работает экспериментальная линия на Кучинском комбинате облицовочных керамических материалов. Поточная линия по этой технологии состоит из сушильно-глазуровочного конвейера и роликовой щелевой печи, в которую плитки автоматически поступают из второй сушилки и через 40 *мин* выходят обожженными с противоположного конца печи. Только здесь осуществляется первая ручная операция — сортировка плиток.

В роликовой печи плитки обжигают без керамических поддонов (лещадок): плитки перемещаются непосредственно по вращающимся приводным роликам. В процессе экспериментальной разработки конструкции печи были опробованы ролики из различных материалов. Наиболее надежными оказались ролики из специальной жаростойкой стали. В отличие от керамических роликов к металлическим не прилипает глазурь, частично увлекаемая тыльной и торцовыми сторонами плитки в глазуровочной камере. (На керамических роликах глазурь образует наплывы — «наматывается в виде колец», нарушающих работу печи).

Длина печи 33,6 *м*, ширина обжигательного канала 800 и высота 585 *мм*. Она состоит из 12 секций длиной по 2,8 *м* каждая; из них 5 секций составляют зону подогрева и обжига и 7 — зону охлаждения. Плитки двигаются в печи четырьмя параллельными потоками. Отапливается печь природным газом, который сжигается в инжекционных горелках, расположенных сверху и снизу роликов. Проектная производительность печи 250 тыс. $м^2$ в год. В зоне охлаждения на участке температур 600—500° С расположены дополнительные горелки.

Установлены существенные отличия скоростного режима обжига [130]. Температура обжига должна быть выше на 40—60°. Для предотвращения взрываемости плиток в период удаления остаточной влаги влажность поступающих на обжиг плиток должна быть в пределах 0,2—0,5%, а во избежание взрываемости в период удаления гидратной влаги скорость этого процесса не должна превышать 20—25% в 1 *мин* в интервале температур до 750° С и 10% в 1 *мин* — в интервале 900—1000° С. Чтобы не было пороков на глазурном покрытии, 85—90% гидратной влаги необходимо удалить до начала разлива глазури. Уменьшение толщины плиток с 5—5,4 до 4,5—4,8 *мм* улучшило условия дегидратации.

Расход условного топлива на обжиг составил 0,21 *кг* на 1 *кг* плиток или 2,04 *кг* на 1 $м^2$ плиток, а на сушку — 2,37 *кг* на 1 $м^2$ плиток. Расход электроэнергии 0,9 *квт·ч* на 1 $м^2$ плиток.

Обжиг плиток в щелевых роликовых печах имеет очень большие преимущества по сравнению с обжигом в туннельных печах «нормального сечения»: короткие сроки обжига создают возможность включать печь в состав автоматизированной поточной линии, исключаются ручные операции по перекладке плиток, отпадает необходимость в капселях, кассетах и другом огнеупорном припасе, расход топлива сокращается примерно на 30%, а расход электроэнергии — в 2,4 раза, примерно на 10—15% может быть уменьшена толщина плитки и соответственно расход массы на ее приготовление, упрощается задача освоения производства цветных плиток, для изготовления которых обычно требуется повышенное количество глазури, затрудняющее обжиг плиток в вертикальном положении в капселях. Эти преимущества создают благоприятные перспективы для широкого использования в производстве плоских керамических изделий щелевых печей.

§ 4. ПОРОКИ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТОК

Трещины на плитках появляются в результате того, что на обжиг поступают плитки с повышенной влажностью. Они появляются также при быстром охлаждении плиток в температурном интервале модификационных превращений кварца.

Искривление плиток является результатом неравномерного их нагрева и чрезмерно высокой температуры обжига.

Отбитости возникают вследствие многократных перегрузок и недостаточной механической прочности спрессованной плитки.

Цек и отскакивание глазури появляются при несогласованных коэффициентах термического расширения черепка и глазури.

Следы гребенок и слипыш являются результатом неудачной конструкции гребенок и резко возрастают с увеличением количества глазури на плитке.

Мушка свидетельствует о засоренности массы железистыми включениями, содержащимися в сырье («сырьевая мушка») либо попадающими в массу в процессе ее обработки («технологическая мушка»).

Вскипание глазури является результатом запаздывания процесса выгорания органических примесей и сажистого углерода, отлагающегося в порах плитки в стадии ее подогрева, а также запаздывания удаления гидратной влаги.

Рамка возникает, как правило, при увеличенном расходе глазури. Механизм образования этого дефекта до конца еще неясен.

Натеки появляются при увеличенном расходе глазури.

Засорка свидетельствует о плохом качестве капселей и огнеупорного припаса.

Наколы объясняют иногда вовлечением в глазурь при пульверизации пузырьков воздуха. Однозначного объяснения причин этого порока пока не существует.

Рябизна (волнистость) появляется при малом расходе глазури, крупнозернистой («рыхлой») глазури и недостаточной температуре обжига.

§ 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Технико-экономические показатели производства облицовочных глазурованных плиток по отчетным и проектным данным приведены в табл. 40.

Таблица 40

Технико-экономические показатели производства облицовочных глазурованных плиток (на 1 $м^2$)

Показатели	По типовому проекту	Отчетные данные
Расход:		
сырья и материалов в *кг*	14,8	5,5
условного топлива в *кг*	10,4	9,7
электроэнергии в *квт·ч*	6,35	6,6
Трудовые затраты в чел.-час.	0,45	0,4
Себестоимость в руб.	1,26	1,46
Выработка на 1 рабочего в год в $м^2$	—	2000
Потери от брака в %	—	12
Съем с 1 $м^3$ печи в месяц	—	450

§ 6. ПРОИЗВОДСТВО ГЛАЗУРОВАННЫХ ПЛИТОК МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

Прессованные облицовочные глазурованные плитки обладают существенным недостатком: они не являются изделиями индустриального применения — крепление их к стене требует затрат большого количества ручного квалифицированного труда, а относительно большие размеры плитки обусловливают и значительную ее толщину — 4,5—5 *мм*. В связи с этим заслуживают внимания тонкостенные глазурованные мозаичные плитки, изготовляемые методом литья, производство которых сравнительно недавно возникло за рубежом и в нашей стране освоено на нескольких заводах. Выпуск таких плиток в 1966 г. составил около 250 тыс. $м^2$ при суммарной мощности действующих цехов около 1 млн. $м^2$.

1. Номенклатура и технические свойства

Согласно РВТУ 90—62 Госстроя УССР литые керамические облицовочные плитки могут выпускаться глазурованными и неглазурованными, но в нашей стране заводы выпускают их только глазурованными. Литые плитки могут быть 20 типоразмеров: квадратной формы со сторонами 25, 35, 50, 75 100 и 125 *мм* и прямоугольной формы с длиной тех же размеров. Наши заводы выпускают в основном квадратные плитки со сторонами 25 и 50 *мм*. Толщина плиток в зависимости от их размеров может быть от 2 до 4 *мм*, водопоглощение — от 1 до 16%. Плитки для внутренней облицовки должны быть термостойкими, т. е. без трещин после нагрева до 100—110° С и охлаждения в воде с температурой 18—20° С.

Глазури могут быть прозрачными и глухими, белыми и окрашенными, блестящими и матовыми. Наши заводы выпускают плитки с глухими блестящими глазурями.

По качеству плитки делят на I и II сорт. Плитки I сорта должны иметь установленную глубину разреза; не допускаются плохой разлив глазури, наплывы, плешины, засорка, щербины, пятна, вскипание глазури, трещины, отбитости углов, косоугольность и деформации. Для II сорта эти дефекты допускаются в ограниченных пределах. В обоих сортах допускаются с ограничениями наколы и мушки и не допускается цек.

Литые плитки выпускаются в виде ковров, наклеенных на крафт-бумагу, что дает возможность применять их для облицовки панелей одновременно с изготовлением последних индустриальными методами.

2. Сырьевые материалы

Сущность технологии литых плиток заключается в том, что на пористую керамическую подставку последовательно наливается три слоя шликера — разделительный, плиточный и глазурный. Затем окрепшую массу разрезают на подставке на плитки заданной величины и на подставке сушат и обжигают. Каждый слой шликера имеет свой состав и сырьевые материалы для них различны.

Шликер для разделительного слоя на большинстве заводов состоит из 20% мела и 80% бентонита. Этот шликер обеспечивает хорошее сцепление плитки с подставкой в сыром состоянии и свободное отделение плитки от подставки после обжига. Недостатком состава является то, что после обжига он не обладает вяжущими свойствами и поэтому тыльную сторону обожженной плитки надо очищать от остатков разделительного слоя, с тем чтобы обеспечить прочное сцепление ее с раствором при облицовке стены. Учитывая это, на киевском заводе «Керамик» состав разделительного слоя делают близким к составу роман-цемента, что исключает необходимость в трудоемкой операции по зачистке тыльной стороны плитки.

Шликер для плиточного слоя имеет в своем составе значительное количество стеклобоя (до 40%). Наиболее типичными составами плиточного шликера являются следующие (в %): глинистые материалы (часов-ярская глина и каолин) суммарно 5—10, стеклобой 25—40, отощающие (шамот, кварцевый песок) 70—50. Повышенное количество глинистых, особенно глины, приводит к ухудшению фильтрационных свойств шликера и большим усадочным деформациям изделия. Шамот должен иметь возможно меньшее водопоглощение, не более 16%. Наилучшие результаты дает шамот из плиточного боя. Высокопористый шамот ухудшает фильтрационные свойства шликера и снижает прочность плитки. Некоторые заводы вводят в состав плиточного

шликера нефелин-сиенит, являющийся одновременно плавнем и отощителем. Общее содержание щелочных окислов должно быть не менее 15%. Стеклобой должен иметь первую температуру плавкости в пределах 740—850 и вторую при 800—950° С.

Глазурный шликер приготавливается на основе циркониевых или стронциевых фритт с низкой температурой плавления: первая плавкость соответствует 840—880° С, а вторая — 870—960° С. Для глазурного шликера в качестве диспергирующего материала рекомендуется применять глину (а не каолин), так как она обеспечивает лучшее сцепление глазурного и плиточных слоев.

3. Технологический процесс

Основными операциями технологического процесса являются подготовка сырьевых материалов, приготовление разделительного, плиточного и глазурного шликеров, литье плиток на конвейере, их сушка, обжиг, сортировка и наклейка ковров. Подготовка сырьевых материалов и приготовление шликеров осуществляются по технологии, общепринятой в производстве изделий тонкой керамики. Основные свойства шликеров для производства литых плиток приведены в табл. 41.

Таблица 41

Свойства шликеров

Свойства	Шликер для слоя		
	разделительного	плиточного	глазурного
Плотность в *г/см³*	1,05—1,08	—	1,5—1,6
Влажность в %	87—95	23—27	40—50
Остаток на сите 006 в %	0,5—2	10 -15	0,03-–0,15
Вязкость (первая текучесть в вискозиметре Энглера) в *сек*	—	20—30	—
Коэффициент загустеваемости	—	1,6—2,2	—

Двухсуточное выстаивание плиточного шликера, практикуемое на Катуаровском заводе, способствует сильному снижению брака (наколы и задиры) при резке плиток.

Отливают плитки на специальных литейных подвялочных конвейерах типа СМ-725А или КПЛ, имеющих одинаковые технологические особенности и различающихся лишь конструктивным выполнением отдельных деталей. В некоторых случаях сушка и обжиг плиток совмещены в едином сушильно-печном агрегате типа многоканальной печи, а в других разделены: сушат плитки в ленточной конвейерной сушилке, а обжигают в многоканальной печи либо в печи с шагающим подом СМ-916.

Схема технологической линии с многоканальной печью для сушки и обжига плиток представлена на рис. 156. На движущиеся по конвейерам пористые керамические поддоны (лещадки) поливными аппаратами *14* поочередно наносятся шликеры разделительного, плиточного и глазурного слоев. Двигаясь по конвейеру, поддон с отлитой массой подсыхает и поступает сначала на зачистное устройство *8*, а затем на режущее устройство *9*, состоящее из вращающихся дисков. Проходя дважды режущие устройства, расположенные под углом 90°, отлитая масса оказывается разрезанной на плитки заданных размеров

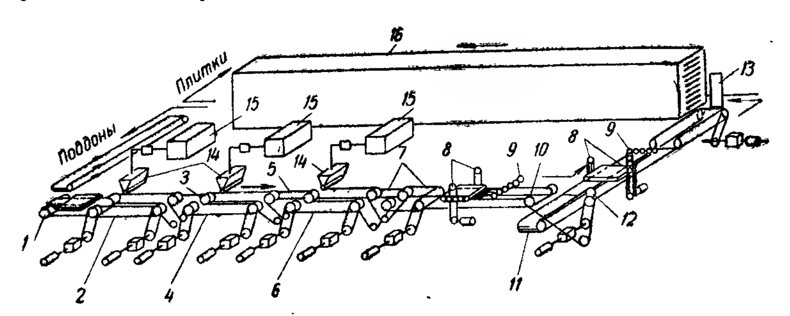


Рис. 156. Схема технологической линии производства плиток способом литья

1 - транспортер подачи подставок; *2* — транспортер разделительного слоя; *3, 5* и *7* — промежуточные транспортеры; *4* — транспортер плиточного шликера; *6* — транспортер глазури; *8* — устройство для очистки наплывов; *9* — режущее устройство; *10* и *11* — транспортеры; *12* — упор; *13* — автомат загрузки сушилки-печи АЗП; *14* — аппараты для нанесения разделительного слоя, плиточного шликера и глазури; *15* установка для перекачки суспензий; *16* — сушилка-печь

и формы, после чего подставка с плитками автоматически передается в сушильно-обжиговый агрегат *16*, а в других схемах — последовательно в сушилку и в печь. После выхода поддона из печи с него снимаются плитки, которые затем сортируют и наклеивают на ковры. Поддон очищают от остатков массы и направляют к литейно-подвялочному конвейеру для повторного использования. На некоторых заводах конвейеры оборудованы устройством для зачистки тыльной стороны поддона, что уменьшает прилипание поддона к поду печи.

Проектная производительность конвейера 27,2 *м²/ч*, а длительность цикла набора черепка 8—10 *мин*. Длительность сушки в ленточно-сетчатой сушилке 15—20 *мин*. Температура сушки 320—350° С. Длительность обжига в многоканальных печах 6—8 *ч*; температура обжига в зависимости от состава плиточного шликера 910—990° С. Длительность обжига в щелевой печи с шагающим подом 1 *ч*.

Длительная практика работы пяти цехов выявила бесспорные преимущества схемы с раздельной сушкой и обжигом плиток: возможно механизировать зачистку тыльной стороны поддонов, снижается брак в обжиге и улучшается качество плиток.

Щелевые печи однорядного обжига в сравнении с многоканальными обеспечивают скоростной обжиг, снижение брака и улучшение качества плиток, в частности исключается разная тональность цвета, характерная для многоканальных печей, вследствие неодинаковой температуры в отдельных каналах печи. На Кучинском комбинате многоканальная печь заменена щелевой роликовой печью. При этом резко снизился брак плиток, повысились сортность продукции и производительность всей технологической линии.

4. Пороки литых плиток

Специфическими видами пороков литых плиток являются следующие.

Засорка, возникающая от попадания пыли при зачистке поддонов наждачными кругами, а также и вследствие низкого качества муфелей.

Деформация, являющаяся следствием неправильного состава плиточного шликера и чрезмерно высокой температуры обжига.

Задир глазури, недорез и повреждение плиток при зачистке поддонов, обусловленные несогласованной работой соответствующих узлов литейно-подвялочного конвейера.

Слипыш, возникающий при набегании подставки друг на друга в муфелях многоканальной печи. Этот дефект является в известной мере органическим недостатком многоканальных печей, и его проявление может быть уменьшено тщательной зачисткой поддонов.

5. Технико-экономические показатели

По проектным расчетам себестоимость литых плиток должна быть примерно на 30% ниже прессованных [131]. В действительности их себестоимость составляет пока 5—6 *руб/м*², что значительно выше, чем прессованных. Такое несоответствие объясняется несколькими причинами:

низкой производительностью отечественных предприятий, выпускающих литые плитки: средняя фактическая производительность одного предприятия составляет в нашей стране 50—80 тыс. *м*² в год;

неосвоенностью оборудования в связи со сравнительной новизной этого производства;

низкой производительностью многоканальных печей и большими диспропорциями в производственных мощностях литейно-подвялочных конвейеров и многоканальных печей;

органическими недостатками многоканальных печей, обусловливающих большой брак (до 30%);

низкой оборачиваемостью поддонов (всего 4—8 оборотов);

значительными трудовыми затратами на изготовление ковров.

Анализ перечисленных причин выявляет большие резервы для снижения себестоимости плиток. Они заключаются в увеличении единичной производительности цехов, ликвидации диспропорций в производительности литейных конвейеров и печей, в распространении удачных конструктивных усовершенствований конвейера, в переходе на шликеры, обеспечивающие повышенный выход годной продукции, в замене многоканальных печей роликовыми и в применении кордиеритовых поддонов взамен шамотных и шамотно-каолиновых. Практика работы куйбышевского завода «Стройкерамика», применяющего кордиеритовые поддоны, показывает, что 60—80 оборотов для них являются вполне реальными, а опытные работы НИИСтройкерамики указывают, что возможно увеличить их до 100. Это может существенно снизить себестоимость литых плиток.

При оценке технико-экономической эффективности литых плиток необходимо также иметь в виду, что прямое сравнение себестоимости прессованных и литых плиток является несопоставимым, поскольку литые плитки отпускаются потребителям в виде готовых ковров, снижающих трудоемкость их применения. Ни прессованные, ни литые плитки не являются конечной строительной продукцией, такой является стена, облицованная плиткой. Поэтому повышенные затраты на производство литых плиток, связанные с набором в ковры, окупаются резким снижением трудовых затрат на облицовку стены и в конечном счете, несмотря на высокую себестоимость заводского производства литых плиток, стоимость стены, облицованной ими, может оказаться более низкой, чем в случае применения прессованных плиток. Изложенное создает благоприятные предпосылки для дальнейшего развития производства литых плиток.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ САНИТАРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Санитарно-строительные изделия используют для оборудования кухонь и санитарных узлов жилых, общественных, бытовых, медицинских и некоторых специальных помещений (лабораторий, парикмахерских и др.). В дореволюционной России эти изделия вырабатывал лишь один завод — Славутский. За годы Советской власти производство санитарно-строительных изделий выросло в самостоятельную керамическую отрасль с 20 специализированными заводами и цехами, причем наиболее интенсивно она развивалась в послевоенный период: в 1950 г. бы-

ло выпущено 760 тыс. единиц таких изделий, в 1966 г. — около 6 млн. шт., а к 1970 г. их выпуск достигнет 8,5 млн. шт. Потребность народного хозяйства в этих изделиях удовлетворяется полностью.

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, НОМЕНКЛАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

По свойствам керамического черепка санитарно-строительные изделия подразделяют на фаянсовые с водопоглощением до 16, полуфарфоровые до 5 и фарфоровые до 0,5%. Иногда выпускают изделия также из шамотированного фаянса (файертоновые).

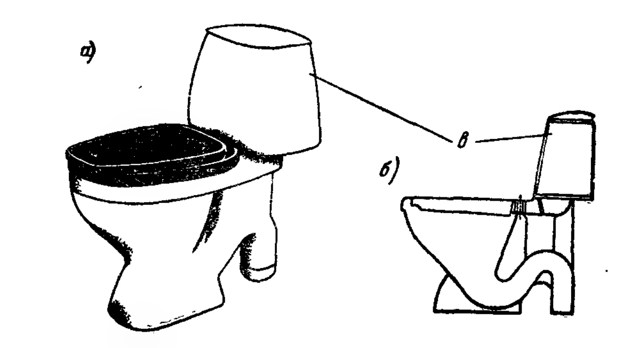


Рис. 157. Унитаз

а — общий вид; *б* — схема; *в* — смывной бачок

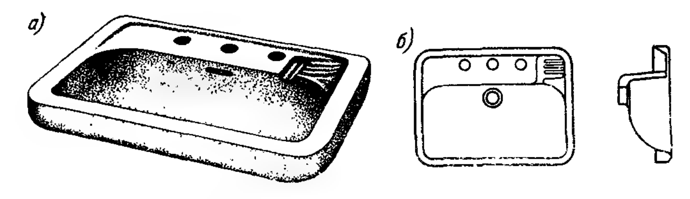


Рис. 158. Умывальный стол

а — общий вид; *б* — схема

По назначению различают следующие виды санитарно-строительных изделий: унитазы (рис. 157), умывальные столы (рис. 158), смывные бачки (рис. 157, *в*) и гарнитуру (мыльницы, полочки, вешалки и др.). Технические свойства изделий санитарно-строительной керамики приведены в табл. 42.

Унитазы различают по форме и размерам, они должны обеспечивать надежный смыв с пропуском воды не менее 1,5 *л/сек*.

Таблица 42

Свойства санитарно-строительной керамики [59]

Показатели	Изделия из			
	фаянса	полуфарфора	фарфора	шамотированного фаянса
Водопоглощение в %	Не более 10—12	Не более 5	0,2—0,5	12—16
Объемный вес в *г/см*³	1,92—1,96	2—2,2	2,25—2,5	1,8—1,9
Предел прочности в *кГ/см*² при:				
изломе	150—300	250—400	380—480	—
сжатии	900—1000	1300—2500	3500—4000	150—300
ударном изгибе	1,5—1,8	1,8—2,2	2—2,3	—

Смывные бачки являются сопутствующим унитазу изделием; их емкость бывает от 8 до 15 *л*. Умывальники различаются размерами и формой.

§ 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СОСТАВЫ МАСС

Для изготовления санитарно-строительных изделий применяют пластичные материалы — огнеупорные беложгущиеся глины и каолины преимущественно мокрого обогащения и отощающие — полевой шпат, пегматит, кварцевый песок, доломит и бой готовой продукции (череп). Кроме того, для улучшения цвета черепка в массу вводят в небольшом количестве сернокислый кобальт, а для повышения текучести шликера — электролиты (жидкое стекло и соду). Общим требованием ко всем сырьевым материалам является минимальное содержание красящих окислов (соединений железа, титана и марганца), а пластичные материалы, кроме того, должны обладать хорошей разжижаемостью, т. е. приобретать требуемую текучесть при нормальной добавке электролитов и влажности. Содержание CaO в песке не должно превышать 2%.

При подборе состава масс для приготовления литейных шликеров необходимо учитывать следующее [132]: повышение содержания в массе отощающих материалов улучшает, а повышение дисперсности пластичных материалов (содержание фракции с размером зерен менее 0,5 *мк*) ухудшает фильтрационные свойства шликера, увеличивая длительность набора черепка; повышенное содержание отощающих понижает прочность отливки, увеличивает ее склонность к образованию трещин при разъеме формы и к деформации (оседанию) после освобождения из формы; увеличение добавки электролита обусловливает «хрупкость» и ухудшает податливость отливки при ее обработке (возникновение заусенцев); повышение влажности шликера при сущест-

венном уменьшении добавки электролита повышает пластичность отливки и податливость ее при обработке.

Некоторые составы масс для санитарно-строительных изделий приведены в табл. 43.

Таблица 43

Составы масс для производства санитарно-строительных изделий

Материалы	Содержание в % для изделий из масс		
	фаянсовых	полуфарфоровых	фарфоровых
Глина: часов-ярская	25	17–20	—
веселовская	—	—	10—13
новорайская	—	—	3—10
Каолин глуховецкий	30	25—30	27—30*
Пегматит	—	15—20	—
Полевой шпат	—	—	18—20
Песок люберецкий	33	24—26	22—27
Доломит	—	1	—
Череп	12	4—6	8—12
Сверх 100%:			
сернокислый кобальт	0,025	0,025	—
сода	0,2	0,12	—
жидкое стекло	0,1—0,15	0,2	—

* В смеси с просяновским каолином.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Санитарно-строительные изделия изготовляют только литьем из шликеров.

Основными операциями технологического процесса изготовления санитарно-строительных изделий являются: подготовка сырьевых материалов, приготовление литейного и глазурного шликеров, формование (литье) изделий, их оправка, сушка, глазурование, обжиг и армировка. Вспомогательным производством является изготовление гипсовых форм.

1. Подготовка сырьевых материалов

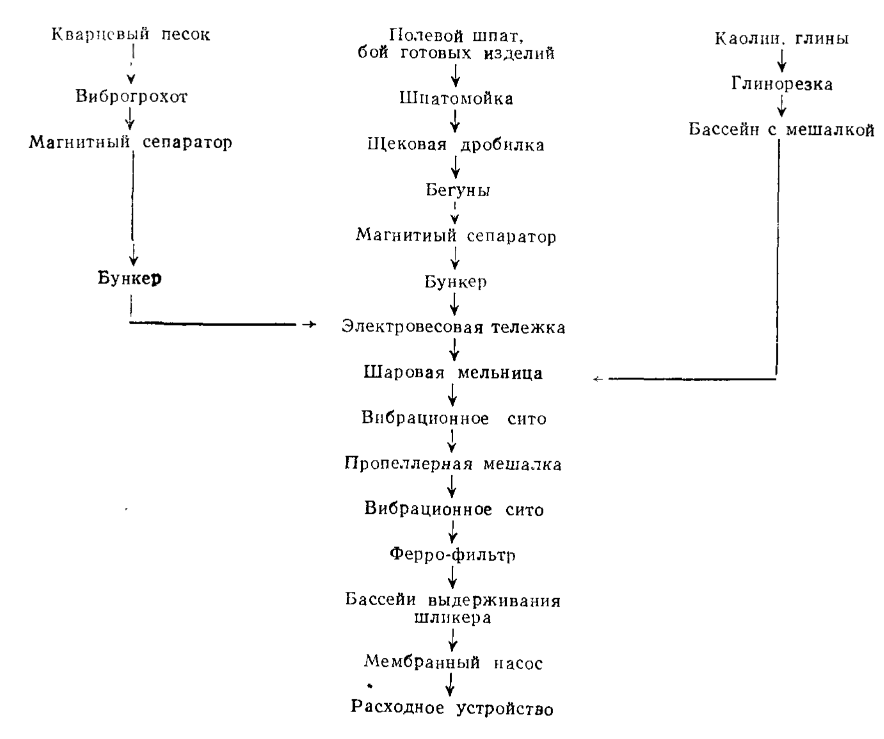
Сырьевые материалы подготавливаются приемами, общими для технологии тонкокерамических изделий. Пластичные материалы (глину и каолин) подвергают грубому дроблению на стругачах и затем распускают в бассейнах с пропеллерными мешалками. Пегматит и череп промывают на шпатомойках, затем подвергают грубому дроблению на щековых дробилках и измельчают на бегунах с гранитными катками и подом,

после чего измельченный материал проходит магнитное обогащение. Кварцевый песок просеивают на грохотах и подвергают магнитному обогащению. Измельченные материалы поступают в бункера для последующей дозировки.

2. Подготовка шликера

Литейный шликер должен иметь коэффициент загустеваемости в пределах 1,5—1,7. Текучесть шликера регулируют его влажностью и добавкой электролитов. На отечественных заводах готовят шликеры с влажностью 31—33%, содержание частиц размером менее 0,5 *мк* в шликерах отечественных заводов составляет 31—32%, а зарубежных — 14—19%.

Литейные шликеры, как правило, готовят совместным помолом отощающих и пластичных материалов и обязательно выстаивают несколько суток: на зарубежных заводах 1—2 суток [133], на отечественных заводах по типовому проекту предусмотрено 6-суточное выстаивание шликера. Санитарно-строительные изделия в настоящее время отливают из беспрессовых шликеров. Схема подготовки сырьевых материалов и приготовления литейного шликера приведена ниже.



3. Литье изделий

Санитарно-строительные изделия отливают двумя методами — стендовым и на конвейерах.

При **стендовом** методе унитазы отливают наливным способом в составной форме, причем отдельно отливаются корпус и приставные детали. Последовательность операций при этом такова: форму очищают от прилипших остатков массы, собирают и скрепляют ее металлическими стяжками, устанавливают и закрепляют на литейном столе. После этого тщательно промазывают все швы формы массой, вставляют воронку и резиновым шлангом равномерной струей заливают шликер. Залитую форму выдерживают до образования черепка влажностью 21—22%, после чего частично освобождают ее от креплений, вынимают чашу и вставные части формы, вручную удаляют заусенцы на внутренней поверхности, присоединяют приставные части, тщательно уплотняют и заделывают массой места соединений и заглаживают с внутренней стороны.

Когда все операции на внутренней поверхности закончены, на желоб унитаза накладывают гипсовое кольцо, переворачивают форму, вынимают постамент, заделывают трещины, уплотняют и заглаживают места соединений, после чего разнимают боковые стенки формы и отделывают аналогичным образом изделие с наружной стороны. После проверки всех конструктивных частей шаблонами изделие устанавливают на стеллажи для подвяливания до влажности 18—19%, а затем изделия оправляют на вращающихся столиках, нарезают резьбу, прокалывают монтажные отверстия и замывают губкой.

Смывные бачки отливают обычно сливным методом. Форму очищают, собирают и скрепляют, заливают в нее шликер и выдерживают 3—4 *ч* до образования черепка толщиной 11—12 *мм*, после чего избыток шликера сливают через специальное сливное отверстие и дополнительно выдерживают форму с отливкой 14—18 *ч* до снижения ее влажности до 20—22%. Затем удаляют верхнюю часть формы, присоединяют приставные детали, нарезают, заделывают и заглаживают изделие изнутри и форму переворачивают. Освободив изделие от формы, заделывают и заглаживают его наружную поверхность и устанавливают на подставку для провяливания на 10—12 *ч*, после чего его оправляют на столах, калибруют отверстия, заглаживают и замывают губкой.

Умывальники отливают наливным (иногда комбинированным) способом, устанавливая и скрепляя в батарею 15—16 форм. Отверстия для заливки шликера образуют при этом сплошной канал, через который шликер попадает в каждую форму.

Для ускорения набора черепка стенды делают обогреваемыми, а формы смачивают водным раствором мочевины. Транспортные операции частично механизируют подъемными монорельсовыми тележками и небольшими пневмоподъемниками. После отделки наружных поверхностей изделий их направляют в сушилки. Стендовый способ сохранился частично на старых заводах и постепенно заменяется литьем на конвейерах, которыми оборудуются также все вновь строящиеся заводы.

Литейно-подвялочные конвейеры для санитарно-строительных изделий по виду транспортных механизмов разделяются на два основных типа: рольганговые и кареточные (тележечные). На отечественных заводах преимущественное распространение получили кареточные конвейеры СМ-461А для литья унитазов и СМ-462А для литья умывальников.

Конвейер СМ-461А является двухъярусным, вертикально замкнутым и предназначен для литья унитазов сливным способом. Он имеет две параллельные ветви (рис. 159), на которых симметрично расположены рабочие места, и соответственно этому технологический поток сдвоен. Транспортными механизмами конвейера являются каретки-тележки, перемещаемые импульсивно вдоль конвейера по рельсам гидротолкателями, а с одного яруса на другой — гидроподъемниками и гидроснижателями, установленными в торцах конвейера. Гипсовые формы перемещаются на каретках, которые имеют отсеки-корзины для гипсовых колец.

В верхнем ярусе на позиции *1* сборки форм рабочие пневмосъемниками вынимают из корзин кареток гипсовые кольца и устанавливают их на боковины форм, которые поступают на эту позицию уже скрепленные замками между собой и с нижним вкладышем-постаментом. При перемещении каретки в нее автоматически заливается шликер, поверхность его орошается тонкораспыленной водой, предотвращающей образование «корки», в необходимый момент автоматически доливается шликер, после чего каретка с формой поступает в камеру *2* набора черепка, в которой она находится 1,7—2 *ч*.

Заливка шликера автоматизируется открытием крана шликеропровода в момент остановки кареток и закрытием его при помощи фотоэлемента в момент достижения шликером заданного уровня. В конце конвейера находится позиция слива *3*, на подходе к которой специальные мешалки слегка размешивают шликер в формах для лучшего его слива. По окончании слива каретки поступают на нижний ярус конвейера в камеру *6* закрепления черепка, которую каретки проходят за 4,7—5 *ч*. В конце конвейера гидроподъемник подает их на позицию *4* разборки форм, расположенную в начале верхнего яруса. Здесь пневмосъемниками снимаются с форм гипсовые кольца, которые устанавливаются в корзины кареток. Затем каретка поступает на передаточную тележку *10*, механизм которой раскрывает боковины форм. Под изделия с влажностью 19—20% подводятся оправочные столики с предварительно уложенными на них поддонами, столики опускаются вниз и на позиции *8* изделия проходят предварительную оправку, после чего передаточной тележкой *10* передаются в под-

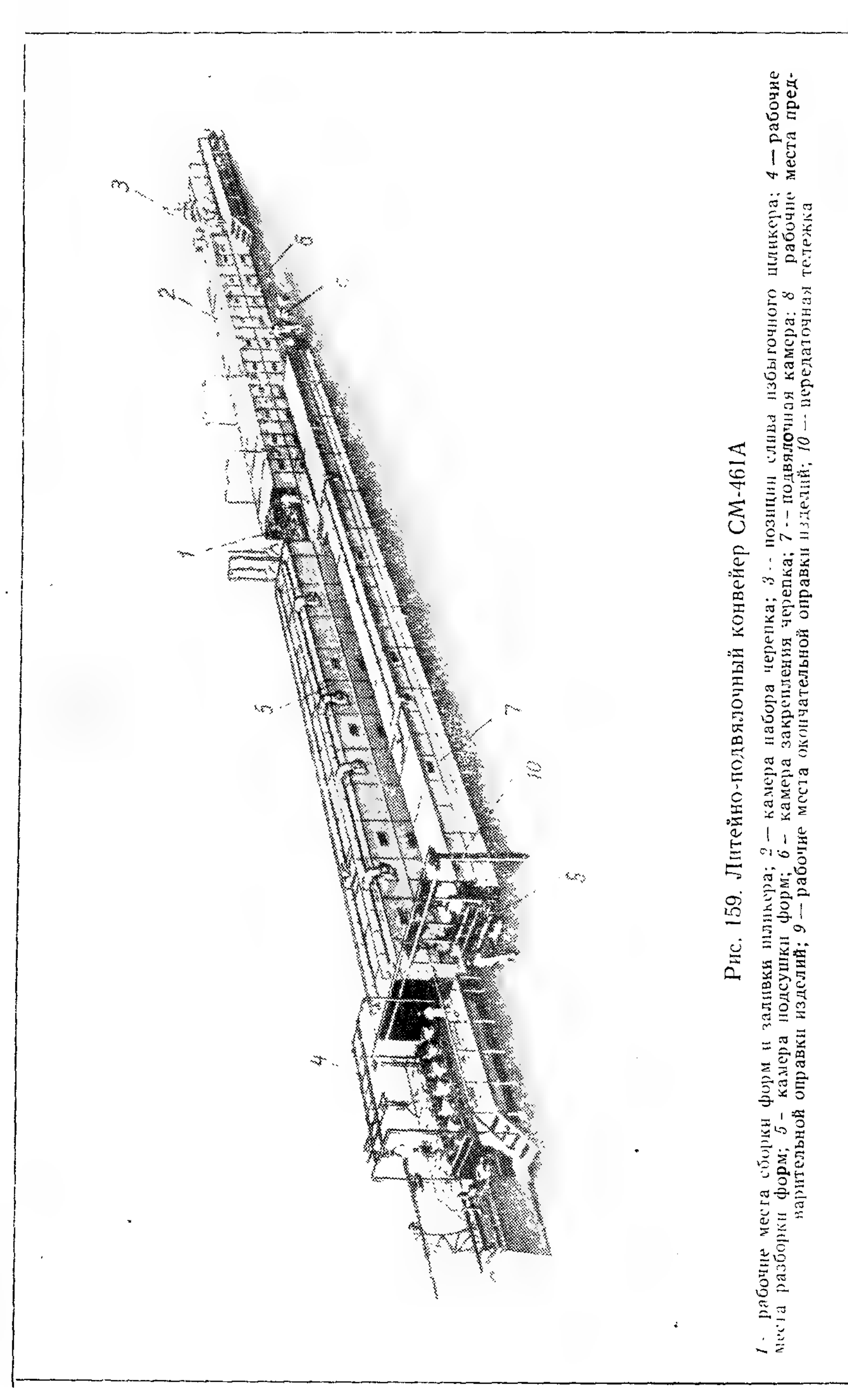


Рис. 159. Литейно-подвялочный конвейер СМ-461А

1 — рабочие места сборки форм и заливки шликера; *2* — камера набора черепка; *3* — позиции слива избыточного шликера; *4* — рабочие места разборки форм; *5* — камера подсушки форм; *6* — камера закрепления черепка; *7* — подвялочная камера; *8* — рабочие места предварительной оправки изделий; *9* — рабочие места окончательной оправки изделий; *10* — передаточная тележка

вялочную камеру *7*; выходят они из камеры с влажностью 12—14%, их окончательно оправляют на рабочем месте *9* и направляют в сушилки.

Транспортным механизмом подвялочной камеры является двухъярусный приводной рольганг. По верхнему ярусу перемещаются каретки с изделиями, а по нижнему возвращаются поддоны от мест *9* окончательной оправки изделий к рабочему месту *4*, на котором изделия вынимают из форм.

После этого механизмы передаточной тележки *10* сдвигают и стягивают боковины формы и опускают на них нижние вкладыши. Скрепленные формы, продвигаясь на каретках по конвейеру, поступают в камеру *5* подсушки гипсовых форм, проходят ее за 1,8 *ч* и поступают на повторную заливку.

Всего конвейер имеет 130 кареток, несущих 260 гипсовых форм. Средние температуры в камерах составляют: набора черепка — 30, закрепления черепка — 46, сушки гипсовых форм — 60 и подвялки изделий — 30° С. Производительность конвейера — 210 изделий в смену; конвейер обслуживают 10 человек в смену.

Для литья умывальников серийным оборудованием в настоящее время является конвейер СМ-462А (рис. 160). Он работает по комбинированному способу, имеет две самостоятельные параллельные двухъярусные ветви *1*, между которыми расположены подвялочный люлечный транспортер *2*, транспортер возврата воронок *3* и подвесная дорога *4* для уборки отходов. Формы укреплены на каретках *5*, перемещаемых по рельсам толкателем *6*. На каждой каретке укреплена одна форма в горизонтальном положении, состоящая из двух полуформ, которые на каретках крепятся в кассетах. Верхняя полуформа открывается копирами, а нижняя — поворотом на 180° при съеме отлитого изделия и передаче его на прикрышу. Каретки с одного яруса на другой передаются гидроподъемниками *7*.

Примерно на середине нижнего яруса рабочие очищают гипсовые формы от приставших частичек массы и обдувают их сжатым воздухом. Затем формы автоматически закрываются и в них вставляют воронки и сливные пробки. Механизм *8* автоматически заливает в формы шликер и доливает его, после чего формы поступают в камеру набора черепка. По завершении этого процесса форма наклоняется диагонально на 50° при помощи специального механизма *9*, из нее вынимают сливную пробку и сливают избыточный шликер из бортов умывальника, которые отливаются полыми. Здесь же вынимают воронки, очищают их, укладывают на транспортер возврата к местам заливки форм. Когда избыточный шликер слит из четырех форм, они отводятся специальным механизмом *10* с целью образования зазора, необходимого для нормальной работы механизма слива.

После слива шликера каретку гидроподъемником *7* передают в верхний ярус, в камеру *11* закрепления черепка, пройдя кото-

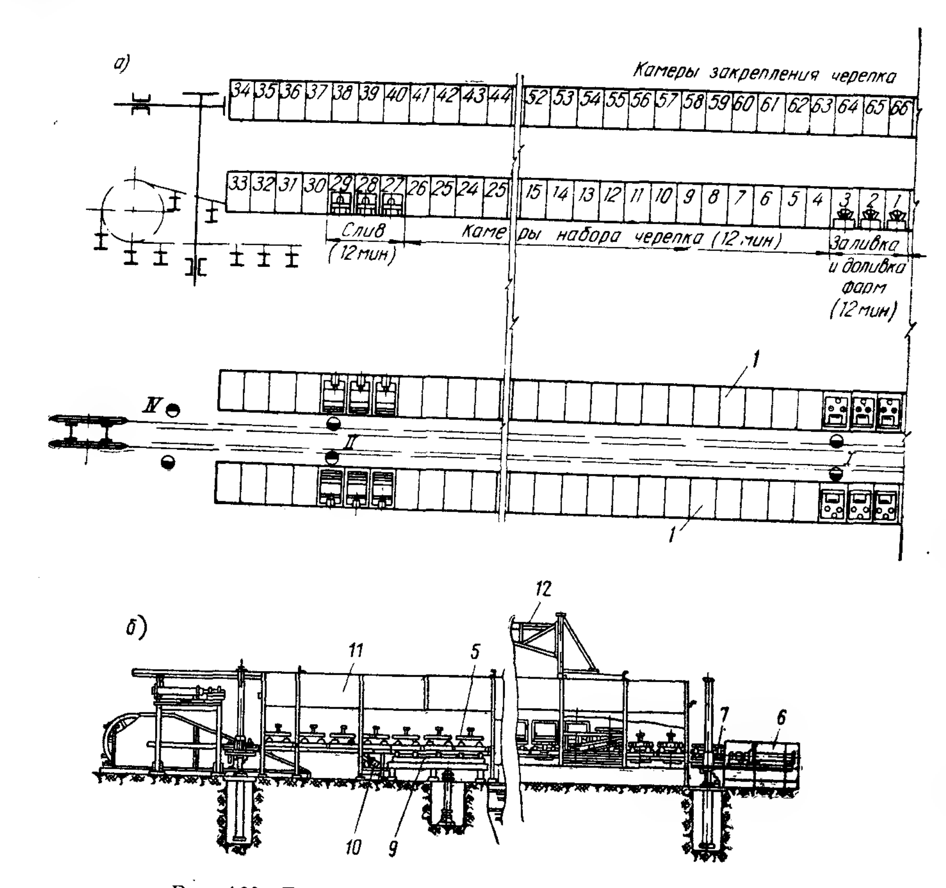


Рис. 160. Литейно-подвялочный конвейер СМ-462А

а — технологическая схема литья; *б* — продольный разрез; *в* — поперечный разрез

рую она снижателем передается в нижний ярус на позиции съема изделий. Отлитый умывальник здесь вынимают из формы на прикрышу, предварительно оправляют и пневмосъемником *12* устанавливают на люльку подвялочного транспортера. По окончании провялки влажность его снижается до 12—14%, изделие окончательно оправляют и направляют в сушилку.

Производительность конвейера — 200 умывальников в смену, обслуживают его 8 рабочих.

4. Сушка изделий

Перед глазурованием санитарно-строительные изделия сушат до влажности 0,8—1% в искусственных конвективных многозонных сушилках с монорельсовым или кареточ-

ным транспортом. Теплоносителем является чистый воздух, отбираемый из зоны остывания туннельных печей или нагреваемый в паровых калориферах.

За последние годы для сушки успешно применяются кареточные сушилки Гипростройматериалов. Такая сушилка является трехзонной шестиярусной конвективной сушилкой. Рабочая камера ее имеет длину 35, высоту 6 и ширину 2,6 *м*. Она выполнена в виде металлического каркаса, заполненного стеклом. Каж-

дый ярус отделен от смежного сплошной горизонтальной перегородкой и представляет собой самостоятельный туннель. Пять верхних ярусов сушильные, нижний используется для возврата порожних кареток. Транспортным механизмом являются каретки, перемещаемые вдоль туннелей гидроцилиндрами, а подача кареток на каждый ярус на загрузочной стороне и их опускание на разгрузочном конце производятся гидроподъемниками.

Подача рабочего воздуха с температурой 100—120° С и отсос отработанного воздуха производится поэтажно через вертикальные стояки и патрубки каждого этажа. Продолжительность сушки 18—24 *ч*.

Изделия малотиражного ассортимента, а также крупногабаритные изделия сушат в камерных сушилках.

5. Глазурование изделий

Все санитарно-строительные изделия глазуруют для придания им необходимых санитарно-гигиенических свойств и для улучшения их внешнего вида.

Глазури для санитарно-строительных изделий должны обладать химической стойкостью и твердостью не ниже 6 единиц по минеральной шкале. Применяют почти исключительно белые глазури, которые могут быть прозрачными и глухими. Некоторые составы глазурей для санитарно-строительных изделий приведены в табл. 44.

Удельный вес глазурей для фаянсовых масс должен быть 1,52—1,54, а остаток на сите 10 000 *отв/см²* — 0,25—0,3%; для

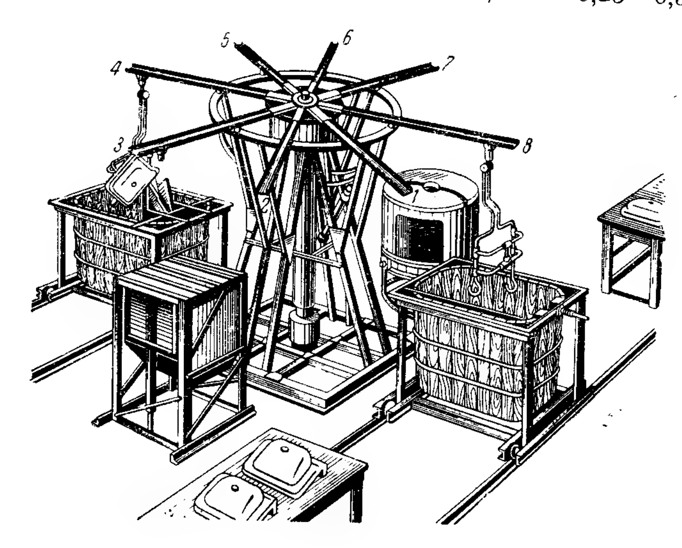


Рис. 161. Машина для глазурования санитарных изделий СМ-680

Таблица 44

Составы глазурей для санитарно-строительных изделий (в %)

Компоненты	Для изделий фаянсовых 1	фаянсовых 2	полуфарфоровых 1	полуфарфоровых 2	фарфоровых	Состав фритты цирконовой
Полевой шпат	40,4	20,9	—	26,7	25,5	—
Песок кварцевый	31,3	19,6	10	26,6	25,4	19,8
Мел	17,3	5,8	—	11,3	10,8	1,2
Опока (доломит)	—	—	14,5	—	—	6,2
Окись цинка (обожженная)	3,5	3,9	3,8	3,4	3,3	2,1
Углекислый барий	—	4,3	—	7,2	6,9	—
Глина часов-ярская	0,5	4,3	—	—	4	—
Каолин глуховецкий	7	0,9	6,7	8,8	3,1	—
Фритта цирконовая	—	39,4	—	—	—	—
Череп		—	13,5	—	—	—
Бентонит	—	0,9	—	—	1,4	—
Гидроборацит	10	—	—	—	—	—
Окись цинка	—	—	—	—	3,3	—
Пегматит	—	—	51,5	—	—	32,8
Циркон	—	—	—	10,6	14,4	19,1
Тальк	—	—	—	—	5,2	—
Витерит	—	—	—	—	—	1,3
Углекислый стронций	—	—	—	—	—	4,9
Кремнефтористый натрий	—	—	—	—	—	4,3
Сода	—	—	—	—	—	8,3
Сернокислый кобальт (сверх 100%)	0,025	0,025	—	—	0,03	0,02

полуфарфоровых масс соответственно 1,48—1,5 и 0,15—0,2%. Влажность глазурного шликера равна 45%.

Глазуруют санитарно-строительные изделия методом погружения. На отечественных заводах этот процесс механизирован при помощи установки СМ-680 (рис. 161). Основной частью установки является карусельная машина с восемью радиально подвешенными на ней траверсами, которые периодически поворачиваются на 45°. На позиции *1* изделие подвешивается к траверсе для глазурования. После ее поворота изделие на позиции *2* поступает в обдувочную камеру, на позиции *3* изделие вручную замывают, а на позиции *4* оно глазуруется погружением в ванну с глазурью, на позиции *5* подсыхает, на позиции *6* доглазуровывается пульверизацией, на позиции *7* снимается с подвески и на позиции *8* подвески отмываются от глазури. Места, не подлежащие глазурованию, предварительно покрывают парафином либо с них смывают глазурь. Расход глазури на 1 *т* изделий 50 *кг*.

После глазурования влажность изделия повышается примерно до 5%. Поэтому их подсушивают в люлечной конвейерной сушилке до влажности 0,5% при 150° С. Длительность подсушки примерно 20 *мин*.

6. Обжиг изделий

Более 85% всех вырабатываемых в Советском Союзе санитарно-строительных изделий однократно обжигают в туннельных печах без капселей. В прошлые годы строили туннельные печи для двухъярусного обжига санитарно-строительных изделий с размещением их на этажерках. В настоящее время для обжига санитарно-строительных изделий строят только туннельные печи Гипростройматериалов С-88 и С-100 длиной соответственно 88 и 100 *м* с одноярусной садкой изделий на вагонетки с канализованным подом. Эти печи открытого пламени (прямого огня) со щелевыми, газовыми горелками, направляющими продукты горения в канализованный под вагонетки. Часть зоны остывания (в температурном интервале отвердевания обжигаемой массы и модификационных превращений кремнезема) имеет рекуперативное охлаждение. Отбор отработанных газов из зоны подогрева распределенный. Температурный режим обжига приведен на рис. 162. Длительность обжига в таких печах составляет 21—23 *ч*; плотность загрузки 83 *кг/м³* рабочего объема, съем с 1 *м³* в месяц 2,4 *т*.

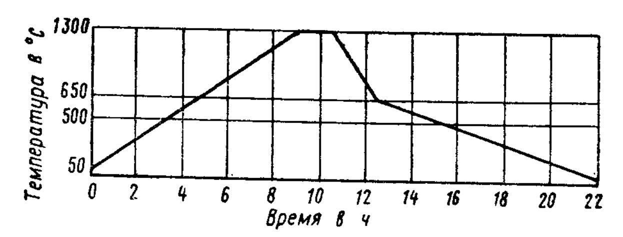


Рис. 162. Температурный режим обжига санитарно-строительных изделий в однорядной туннельной печи

Наиболее высоким качеством отличаются изделия, обожженные в муфельных туннельных печах, которые получили широкое распространение за рубежом и начинают внедряться на отечественных заводах.

После обжига изделия рассортировывают и годную продукцию направляют в отделение армировки, где ее укомплектовывают всей необходимой арматурой. Затем изделия поступают в отделение упаковки и далее на склад готовой продукции. Бракованные изделия направляют в отделение подготовки сырьевых материалов для использования в качестве черепа.

§ 4. ПОРОКИ САНИТАРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Многие пороки санитарно-строительных изделий обусловлены нарушением технологии при отливке. Так, **трещины на сырых изделиях** возникают при неодинаковой толщине гипсовой формы, неодинаковой толщине отдельных частей изделия и резких переходах от тонких частей к утолщенным вследствие неодинаковой влажности приставных деталей и корпуса изделия, низкой «пластичности» шликера и других его дефектов, недостаточной конусности вставных деталей формы, наличия в ней острых углов, выступов и т. п.

Разнотолщинность изделия при наливном способе литья является следствием неправильной сборки формы, а при сливном— неполного слива шликера.

Пятна на литых изделиях появляются в местах удара струи шликера о форму и являются причиной плохого набора глазури в этих местах.

На обожженных изделиях возникают трещины при недостаточной просушке их перед обжигом и при чрезмерно интенсивном охлаждении в температурных интервалах отвердения и модификационных превращений кремнезема («холодный треск»).

§ 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Основные технико-экономические показатели производства санитарно-строительных изделий по проектным и отчетным данным приведены в табл. 45.

Таблица 45

Технико-экономические показатели производства санитарно-строительных изделий

Показатели	По проектным данным	По отчетным данным (средние)
Расход:		
сырья и материалов в *т/т*	133	1,45
условного технологического топлива в *кг/т*	600	980
электроэнергии на технологические нужды в *квт·ч/т*	217	511
электроэнергии на 1 рабочего в *квт·ч*	—	5270
то же, на 1 отработанный чел.-час.	—	2,9
Трудовые затраты в *чел.-час/т*.	—	88
Выработка на 1 рабочего в год	18 *т*	1015 шт.
Себестоимость (без арматуры) в *руб/т*	180,5	253

Дальнейшее улучшение технико-экономических показателей производства санитарно-строительных изделий возможно достичь за счет: более полного освоения литейно-подвялочных конвейеров и совершенствования их конструкции; создания литейно-подвялочных конвейеров для смывных бачков; снабжения промышленности высококачественным гипсом, позволяющим значительно уменьшить трудовые затраты на внешнюю отделку изделий и повысить оборачиваемость форм; перехода на выпуск изделий, более технологичных в изготовлении; перевода туннельных печей на одноярусную садку изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калантар Г. А. Архитектурно-строительная керамика из повсеместно распространенных глин. «Строительные материалы», 1956, № 12.

2. Беркман А. С., Мельникова И. Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. Л., Госстройиздат, 1962.

3. Августиник А. И. Керамика. Промстройиздат, 1957.

4. Будников П. П., Геворкян Х. О. Фарфор. Росгизместпром, 1955.

5. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. Госэнергоиздат, 1956.

6. Трушин А. В. Пластичность керамических и огнеупорных масс. «Стекло и керамика», 1959, № 9.

7. Барщевский Ф. А. Определение необходимого количества воды для нормального затворения глинистых материалов. «Строительные материалы», 1956, № 8.

8. Наумов М. М. Метод расчета сроков сушки керамических изделий. Сб. «Улучшение качества глиняного кирпича». «Легкая индустрия», 1964.

9. Белопольский М. С. Исследование кинетики напряженного состояния и механизма трещинообразования керамических изделий пластического формования при сушке. Автореферат диссертации, 1963.

10. Мазуров Д. Я., Роговой М. И., Волгина Ю. М. Теплотехника и теплотехническое оборудование предприятий промышленности строительных материалов. Часть II «Промышленная теплотехника». Стройиздат, 1966.

11. Носова З. А. Чувствительность глин к сушке. Изд. БТИ МПСМ РСФСР, 1946.

12. Наумов М. М. Зависимость скорости сушки керамических изделий от их относительного удлинения при растяжении. «Стекло и керамика», 1962, № 3.

13. Жуковский К. А., Левин Х. Д. Внедрение новой техники и повышение производительности труда. Изд. ВХО БССР, Минск, 1959.

14. Роговой М. И. Мероприятия по повышению технического уровня кирпичных заводов. «Строительные материалы», 1966, № 9.

15. Силкин П. В. Зимние способы добычи и хранения глины. Госстройиздат, 1960.

16. Матвеев Г. В. Опыт борьбы с дутиком и улучшение качества кирпича на заводах Гостransстроя. Сб. «Улучшение качества глиняного строительного кирпича». Легкая индустрия», 1964.

17. Дементьев М. Т. Производство кирпича и шлакоцементного шифера на сезонных кирпичных заводах. Росгизместпром, 1958.

18. Роговой М. И. Новая технология производства кирпича. «Строительные материалы», 1967, № 9.

19. Сечкин Р. М. и др. Технический уровень оборудования для производства стеновой керамики. Изд. НИИИнфстройдоркоммунмаш, М., 1966.

20. Кошляк Л. Л., Лундина М. Г. О роли предварительного увлажнения при пластической подготовке керамической массы. «Строительные материалы», 1961, № 3.

21. Лундина М. Г. Исследование обработки глиняных масс при производстве кирпича. Труды НИИСтройкерамики, вып. 14. Госстройиздат, 1959.

22. Кошляк Л. Л. Влияние режима работы вальцев на улучшение качества кирпича. Сб. «Улучшение качества глиняного кирпича». «Легкая индустрия», 1964.

23. Штром В. В. Оборудование для производства легких заполнителей. «Машиностроение», 1964.

24. Петров Л. К. Об улучшении качества кирпича на действующих заводах. Изд. ВХО БССР, Минск, 1959.

25. Роговой М. И. Увлажнение глины паром в производстве кирпича. Стройиздат, 1943.

26. Ещенко Д. Д Скоростная сушка кирпича сырца. «Строительные материалы», 1965, № 11.

27. Будников П. П., Альперович И. А. Физико-химические основы вакуумирования глин и керамических масс. Сб. «Физико-химические основы керамики». Промстройиздат, 1956.

28. Швецов Б. С. Введение в химию кремния. Гизлегпром, 1934.

29. Robinson G., Keilen J. Bul. Amer. Ceram. Sos., т. 36, 1957, № 11.

30. Книгина Г. И. Повышение качества кирпича из новосибирских суглинков. «Строительные материалы», 1967, № 2.

31. Мороз И. И. Перевод заводов строительной керамики на круглогодовую работу. Госстройиздат УССР, 1958.

32. Алексюк И. М. и др. Центробежная мельница для помола глинистых материалов. «Стекло и керамика», 1965, № 7.

33. Бельдюкевич В. Л. Выбор размеров сушильной камеры башенной распылительной сушилки. «Стекло и керамика», 1966, № 6.

34. Белостоцкая Н. С., Анискова Л. С. Преимущества применения пресспорошка, полученного способом распыленной сушки, в производстве облицовочных плиток. «Стекло и керамика», 1965, № 11.

35. Белопольский М. С. Гранулометрический состав и влажность порошка, получаемого при механическом распылении шликера. «Стекло и керамика», 1966, № 2.

36. Draignaüt P., Barzar G. Indüstrie ceramigüe, 1965, октябрь.

37. Квятковская К. К., Чернов В. А. О роли анионов в разжижении глин. Труды НИИСтройкерамики, вып. 16. Госстройиздат, 1960.

38. Галабутская Е. А. Система глина — вода. Изд. Львовского политехнического института, 1962.

39. Заварзина Е. И. Изучение скорости взаимодействия электролита с глинами и каолинами в целях выявления оптимальных условий для приготовления литейного шликера. Автореферат диссертации, 1961.

40. Ефремов Г. Л. Влияние воздушных включений, формы и расположения глинистых частиц на усадку и пороки керамических изделий. Автореферат диссертации, Ленинград, 1954.

41. Фадеева В. С. Формуемость пластичных дисперсных масс. Госстройиздат, 1961.

42. Абрамович М. Д. Совершенствование технологии формования изделий строительной и архитектурной керамики. Автореферат диссертации, Киев, 1963.

43. Еременко В. В. Структурно-механические свойства Узбекистанского керамического сырья. Автореферат диссертации, Ташкент, 1955.

44. Ильевич А. П. Исследование влияния конструктивных и технологических параметров ленточного лопастного пресса на эффективность его работы. Автореферат диссертации, 1954.

45. Поздняков А. П. Изучение некоторых реологических свойств глин и разработка технологии производства крупноразмерных двухслойных керамических камней. Автореферат диссертации, Ленинград, 1962.

46. Комская М. С. Изучение движения глинистой массы в мундштуках ленточных прессов методом моделирования. Госстройиздат УССР, 1959.

47. Гимонов В. А. Холодильник к вакуум-насосу ленточного пресса. «Строительные материалы», 1959, № 9.

48. Сапожников М. Я., Булавин И. А. Машины и аппараты силикатной промышленности, часть I. Промстройиздат, 1950.

49. Ярошевский А. В. Рациональная технология производства глиняного кирпича. Изд. БТИ МПСМ РСФСР, 1946.

50. Попильский Р. Я. Исследование процессов прессования порошкообразных масс в технологии керамики и огнеупоров. Автореферат диссертации, 1966.

51. Кондрашов Ф. В. Исследование процессов запрессовки воздуха и упругого расширения при прессовании керамических порошков. Автореферат диссертации, 1963.

52. Полюх В. А. Исследование процесса полусухого прессования строительного кирпича. Автореферат диссертации, 1952.

53. Бережной А. С., «Огнеупоры», 1947, № 7.

54. Мамыкин П. С. Огнеупорные изделия. Металлургиздат, Свердловск, 1955.

55. Попильский Р. Я., Смоля А. В. О послойной плотности огнеупорных масс при прессовании. «Огнеупоры», 1948, № 11.

56. Ярошевский А. В. Производство глиняного кирпича способом сухого прессования. Гизместпром, 1940.

57. Ценке В. И. Трещины расслаивания при полусухом способе прессования керамических изделий и меры борьбы с ними. Сб. «Улучшение качества глиняного кирпича». «Легкая индустрия», 1964.

58. Ziegelindüstrie, № 18, 1957.

59. Шерман Я. И. Производство санитарно-строительной керамики. Госстройиздат, 1963.

60. Элькинсон Р. З. Исследования влияния вибрации на некоторые физико-химические и технологические свойства суспензий для литья керамических изделий. Автореферат диссертации, 1961.

61. Гребер Г. И., Эрк С. Основы учения о теплообмене. ОНТИ, 1936.

62. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. Машгиз, 1953.

63. Лыков А. В. Тепло-и массообмен в процессах сушки. Госэнергоиздат, 1956.

64. Максимов Г. А. Тепло- и массообмен при нагреве влажных материалов в электрическом поле высокой частоты. Труды конференции «Промышленное применение токов высокой частоты». Машгиз, 1954.

65. Жуков Д. В. Скоростная сушка кирпича-сырца. Госстройиздат, 1959.

66. Лебедев П. Д., Буз М. А. Метод расчета бездефектной сушки керамических стеновых материалов на основе теории вероятности. «Строительные материалы», 1965, № 8.

67. Белопольский М. С. Расчет рационального режима сушки керамических изделий. Сб. «Улучшение качества глиняного кирпича», «Легкая индустрия», 1964.

68. Роговой М. И. Пороки глиняного кирпича и меры борьбы с ними. Сб. «Улучшение качества глиняного строительного кирпича». «Легкая индустрия», 1964.

69. Хигерович М. И. Улучшение сушки кирпича влагозадерживающими пленками на боковых гранях. Изд. МИСИ им. В. В. Куйбышева, М., 1957.

70. Эстрович В. О. Производство лицевой офактуренной керамики на

ленточном прессе. Сборник по обмену опытом в промышленности строительной керамики, № 4. Изд. НИИСтройкерамики, 1956.

71. Дудеров Г. Н. Обжиг спекающихся керамических масс. Промстройиздат, 1957.

72. Кингери У. Д. Введение в керамику. Стройиздат, 1964.

73. Августиник А. И. Общий курс технологии огнеупорных материалов. ОНТИ, 1935.

74. Никулин Н. В., Кортнев В. В. Производство электрокерамических изделий. «Высшая школа», 1965.

75. Лундина М. Г. Исследование физико-химических процессов при обжиге изделий из легкоплавких глин в зависимости от свойств сырья. Труды НИИСтройкерамики, вып. 11 и 12. Промстройиздат, 1957.

76. Алентьев А. А., Игнатов В. Ф. Исследование физико-механических и теплофизических свойств керамического материала при обжиге. «Строительные материалы», 1963, № 4.

77. Справочник по производству строительной керамики. Том II. Госстройиздат, 1961.

78. Эйдук Ю. Я. Основные принципы изготовления и применения легкоплавких бессвинцовых глазурей. Сб. «Глазури, их производство и применение». Изд. Латвийского правления ВХО им. Менделеева, Рига, 1964.

79. Аппен А. А. «Стекло и керамика», 1953, № 1.

80. Туманов С. Г. Пороки в производстве фарфора и фаянса, их причины и устранение. Госхимтехиздат, 1934.

81. Визир В. А., Мартынов М. А. Керамические краски. «Техника», Киев, 1964.

82. Игнатьев Ю. В. Контроль постоянства прочностиых характеристик материалов. «Строительные материалы», 1966, № 7.

83. Барщевский Ф. А. Классификация кирпично-черепичных глин по зерновому составу. «Строительные материалы», 1956, № 7.

84. Гурвич Р. М. Новое в производстве стеновых керамических материалов. «Строительные материалы», 1966, № 9.

85. Роговой М. И., Коновалов Д. О. О выборе типа печей, обеспечивающих комплексную автоматизацию тепловой обработки керамических камней. «Строительные материалы», 1959, № 9.

86. Роговой М. И. Использование отходящего тепла в кирпичной промышленности. Промстройиздат, 1949.

87. Роговой М. И., Курник С. Я. Краткое руководство по охлаждению кольцевых печей. Госстройиздат, 1963.

88. Лундина М. Г. Организация производства лицевого кирпича. «Строительные материалы», 1965, № 5.

89. Кац М. Э. Двухслойный лицевой кирпич. «Строительные материалы», 1964, № 8.

90. Сб. «Крупные кирпичные блоки». «Московский рабочий», 1955.

91. Лундина М. Г., Кошляк Л. Л. Выбор оптимальной конструкции эффективных керамических камней для однослойных стеновых панелей наружных стен. «Строительные материалы», 1962, № 8.

92. Петров Л. К., Ицкович С. М., Шубин М. И. Пористые керамические камни и индустриальные изделия из них. «Строительные материалы», 1963, № 7.

93. Роговой М. И. Керамические изделия для индустриального строительства. «Строительные материалы», 1961, № 2.

94. Жуков А. В., Гороховский А. Д. и др. Производство крупных стеновых конструкций из керамики. «Будівельник», 1965.

95. Лагун И. И., Некрасов К. С., Горелик С. Г. Виброкирпичные панели в жилищном строительстве. Госстройиздат, 1961.

96. Роговой М. И. и др. Оборудование для комплексной механизации производства стеновой керамики. «Машиностроение», 1964.

97. Роговой М. И. Применение керамики в индустриальном строительстве. «Строительные материалы», 1962, № 8.

98. Онацкий С. П. Производство керамзита. Госстройиздат, 1962.

99. Мануйлова Н. С., Майер А. А. Петрографическое исследование процессов, происходящих при обжиге и охлаждении керамзита. Сб. ВХО им. Д. И. Менделеева. «Силикаты», вып. I. Госстройиздат, 1959.

100. Гервидс И. А. Керамзит. Госстройиздат, 1957.

101. Врублевский Л. Е. О причинах вспучивания глинистых пород. «Стекло и керамика», 1962, № 1.

102. Лифшиц А. В., Попов Л. Н. Исследование возможности получения керамзитового гравия заданного объемного веса из различных видов сырья». «Строительные материалы», 1967, № 5.

103. Жуков А. В. Искусственные пористые заполнители из горных пород. Госстройиздат, УССР, 1962.

104. Онацкий С. П. Указания по испытанию сырья для производства керамзитового гравия. Госстройиздат, 1965.

105. Протас Л. Е., Итин Л. М. Производство керамзита с мокрой подготовкой сырья. Стройиздат, 1965.

106. Бутт Ю. М. Практикум по технологии вяжущих веществ. Промстройиздат, 1953.

107. Мягков А. Е., Трутнев В. А. Модернизированная газовая горелка для обжига керамзитового гравия во вращающихся печах «Строительные материалы», 1963, № 1.

108. Биндлер И. А. Выбор форсунки жидкого топлива для обжига керамзита. «Строительные материалы», 1964, № 2.

109. Биндлер И. А. Применение барьерного кольца. «Строительные материалы», 1965, № 7.

110. Бурлакова Л. С., Горных В. П. Керамзитообжигательные печи с перевальным порогом и цепными завесами. «Строительные материалы», 1965, № 7.

111. Лифшиц А. В., Шейнман Е. Ш. Использование подпорных колец во вращающихся печах. «Строительные материалы» 1965, № 7.

112. Лифшиц А. В., Шейнман Е. Ш. Усовершенствованная вихревая горелка для обжига керамзита. «Строительные материалы», 1965, № 11.

113. Мягков А. Е. и др. Интенсификация режима обжига керамзитового гравия и повышение экономичности работы вращающихся печей. «Строительные материалы», 1963, № 4.

114. Макаров Н. В. Завод керамзита с двухбарабанной печью. «Строительные материалы», 1964, № 4.

115. Роговой М. И. Зависимость производительности печи от поверхности футеровки. «Строительные материалы», 1964, № 4.

116. Пивень И. Я. Влияние режима охлаждения на свойства керамзитового гравия. «Строительные материалы», 1965, № 11.

117. Безверхий А. А. Исследование кинетики процесса агломерации и технологических особенностей получения аглопорита. Автореферат диссертации, 1965.

118. Элинзон М. П. и др. Основы производства аглопорита. Госстройиздат, 1962.

119. Гринштейн Х. Р. Исследование процесса подготовки шихты для производства аглопорита из глинистых пород Белоруссии. Автореферат диссертации, Минск, 1965.

120. Справочник по производству искусственных пористых заполнителей. Стройиздат, 1966.

121. Производство аглопорита. Изд. НИИСМ МПСМ БССР, Минск, 1965,

122. «Строительные материалы», 1966, № 11.

123. Лукинов М. И. Керамические дренажные трубы. Госстройиздат, 1963.

124. Зайонц Р. М. Плитки для полов. Сб. «Производство изделий строительной керамики». Госстройиздат, 1962.

125. Белкин Л. И., Коган З. Б. Механизация трудоемких работ в производстве керамических труб. Изд. НИИИнфстройдоркоммунмаш, М., 1966.

126. Лукинов М. И. Керамические канализационные трубы. Госстройиздат, 1959.

127. Зайонц Р. М., Кордонская Р. К. Керамические химические стойкие изделия. Стройиздат, 1966.

128. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. «Мир», 1964.

129. Белопольский М. С. и др. Современные методы обезвоживаиия керамических суспензий с целью получения пресспорошка. Изд. ЦНИИТЭСТРОМ. 1967.

130. Бернштейн П. И., Красноусова А. С., Рохваргер Е. Л. Скоростной однорядный обжиг облицовочных плиток в роликовых печах. Труды НИИСтройкерамики, вып. 27. Стройиздат, 1967.

131. Гельтман А. З., Коган З. Б. Пути механизации и автоматизации производства облицовочной керамики. Изд. НИИИнфстройдоркоммунмаш, М., 1966.

132. Федорова Т. Х. и др. Интенсификация процесса оформления санитарно-строительных изделий при сливном методе отливки на литейном конвейере. НИИСтройкерамики, 1958.

133. Воронович Л. П., Добужинский В. И. Производство санитарно-строительных изделий на отдельных зарубежных предприятиях. Изд. ЦИИТЭСТРОМ, 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Юшкевич Михаил Осипович, Роговой Михаил Исаакович

Технология керамики

Издание 3-е, переработанное и дополненное

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства *З. К. Косякина*
Внешнее оформление художника *Ю. Н. Зеленкова*
Технический редактор *Д. Я. Касимов*
Корректоры *Е. Н. Кудрявцева, Г. Г. Морозовская*

Сдано в набор 10/I 1969 г. Подписано к печати 28/V 1969 г.
Т-08042. Бумага $60 \times 90^1/_{16}$ — 11 бум. л. 22 печ. л. (22,08 уч.-изд. л.)
Тираж 12.000 экз. Изд. № AI —6724. Зак. № 27. Цена 93 коп.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор Владимир, ул. Победы, д. 18-б